

CLARICE FARIAN DE LEMOS

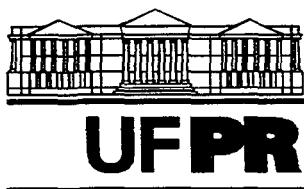
**AVALIAÇÃO DA EROSÃO SUPERFICIAL EM ÁREAS
DE CULTIVO COM PLANTIO DIRETO E PLANTIO
CONVENCIONAL, UTILIZANDO O APARELHO
DE INDERBITZEN**

Dissertação apresentada à Universidade Federal do Paraná, como parte das exigências do Curso de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração em Ciência do Solo, para obtenção do título de "Mestre".

Orientador: Prof. Eduardo Teixeira da Silva

CURITIBA

2002



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E DO DESPORTO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE SOLOS E ENGENHARIA AGRÍCOLA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA: CIÊNCIA DO SOLO(MESTRADO) e
MONITORAMENTO, MODELAGEM E GESTÃO AMBIENTAL(DOUTORADO)
Rua dos Funcionários, 1540-Curitiba/PR-80035-050-Fone/Fax 41-350-5648
E-mail: pgcisol@agrarias.ufpr.br

P A R E C E R

Os Membros da Comissão Examinadora, designados pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Agronomia-Área de Concentração "Ciência do Solo", para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado, apresentada pela candidata **CLARICE FARIAN DE LEMOS**, com o título: "**A utilização do aparelho de inderbitzen para avaliação de erosão superficial em áreas de cultivo com plantio direto e com plantio convencional**", para obtenção do grau de Mestre em Agronomia-Área de Concentração "Ciência do Solo" do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, após haver analisado o referido trabalho e arguido a candidata, são de Parecer pela "**APROVAÇÃO**" da Dissertação, com o conceito "**A**", completando assim, os requisitos necessários para receber o diploma de **Mestre em Agronomia-Área de Concentração "Ciência do Solo"**.

Secretaria do Programa de Pós-Graduação em Agronomia-Área de Concentração "Ciência do Solo", em Curitiba 10 de maio de 2002.


Prof. Dr. Eduardo Teixeira da Silva, Presidente.


Prof. Dr. Paulo José Rocha Albuquerque, Iº Examinador.


Prof. Dr. Valmir Costa Lima, IIº Examinador.



Ao meu querido marido, Paulo Apelles
Aos meus filhos, Vítor e Larisse, razões do meu viver
Aos meus pais, José Moacir e Lúcia
Aos meus irmãos e amigos
Que me apoiaram nos momentos difíceis
Dedico

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal do Paraná (UFPR), Setor de Ciências Agrárias, Departamento de Solos e Engenharia Agrícola, pela oportunidade de tornar possível a realização dessa dissertação.

À Direção do Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná - Unidade de Pato Branco (CEFET/PR-UNED/PB) e à Coordenação do Curso de Construção Civil e seus professores, pela autorização e pela possibilidade de afastamento das atividades docentes.

Ao professor Eduardo Teixeira da Silva pela amizade, dedicação, apoio e competente orientação, agradeço com profunda admiração.

Ao professor Valmiqui Costa Lima pelo estímulo, auxílio e valiosas sugestões e ao professor Vander de Freitas Mello, pela disponibilidade e atenção recebida.

Aos professores do Curso de Pós-Graduação em Agronomia da UFPR, Área de Concentração em "Ciência do Solo", pelos ensinamentos recebidos no decorrer do curso.

À Maria A. C. dos Santos, Valdina C. Rocha, Elda N. L. Lubasinski, Ana Pelagia Kudla, Gerson Novicki, Márcio Muraro e todos os funcionários da biblioteca, do Laboratório de Materiais e Estrutura (LAME) do Centro Politécnico/UFPR e do Centro de Estações Experimentais (CEEx) - Fazenda Canguiri, pela colaboração e atenção dispensada durante a realização da pesquisa .

Aos amigos do curso de mestrado, em especial ao Paulo Chamecki, pelo incentivo, apoio e companheirismo.

Aos estagiários: Rogério, Carolina, Regiane, Kelly, Sigfride e Geraldo, pela ajuda e colaboração nas coletas das amostras e nos ensaios realizados.

Ao meu pai, José Moacir de Lemos, pela valiosa contribuição na verificação ortográfica desse trabalho.

À Lúcia, minha mãe, Cáthia e José Moacir Filho, meus irmãos, Diva e

Moacir José, meus avós, Elzita, Iraíde, Nelson, Vilma e Afonso, meus tios, Eny, minha sogra, sobrinhos, cunhados e cunhadas pelo carinho e compreensão.

Às pessoas que, de alguma forma, auxiliaram na realização desse trabalho, seja, através da orientação técnica e científica, seja prestando apoio e amizade.

"Um homem só vale pelo que de si oferece à humanidade; todos têm, ao menos uma hora na vida, para saldar a dívida contraída no berço e mostrar que vale a pena ter nascido."

Charles Wagner

SUMÁRIO

LISTA DE QUADROS	ix
LISTA DE TABELAS	ix
LISTA DE FIGURAS	x
LISTA DE GRÁFICOS	xi
LISTA DE SIGLAS	xii
LISTA DE SÍMBOLOS	xiii
RESUMO	xiv
ABSTRACT	xv
1 INTRODUÇÃO	1
2 REVISÃO DE LITERATURA	4
2.1 SISTEMAS DE CULTIVO	4
2.2 SIMULADORES DE CHUVA	8
2.3 ENSAIO COM O APARELHO DE INDERBITZEN	13
2.4 ERODIBILIDADE	23
3 MATERIAIS E MÉTODOS	27
3.1 MATERIAIS	31
3.1.1 Amostragem em Campo	31
3.1.2 Solo	31
3.1.3 Equipamentos	31
3.1.3.1 Aparelho de Inderbitzen	31
3.1.3.2 Simulador de chuva	32
3.1.4 Outros Equipamentos	33
3.1.4.1 Análises físicas	33
3.1.4.2 Análises mineralógicas	34
3.2 MÉTODOS	34
3.2.1 Coletas das Amostras	34
3.2.2 Procedimentos	36

3.2.2.1	Análises morfológicas.....	36
3.2.2.2	Análises físicas.....	36
3.2.2.3	Análises mineralógicas.....	38
3.2.2.4	Análises de erosão.....	39
3.2.2.5	Análises de desagregação	42
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	44
4.1	PROPRIEDADES MORFOLÓGICAS	44
4.2	PROPRIEDADES QUÍMICAS.....	45
4.3	PROPRIEDADES FÍSICAS	48
4.3.1	Composição Granulométrica	48
4.3.2	Índices Físicos.....	52
4.3.3	Limites de Atterberg.....	53
4.4	COMPOSIÇÃO MINERALÓGICA DA FRAÇÃO ARGILA.....	54
4.5	ERODIBILIDADE SOLO	57
4.6	DESAGREGAÇÃO DO SOLO	66
5	CONCLUSÕES.....	68
6	RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	69
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	70
	APÊNDICES	74

LISTA DE QUADROS

QUADRO 01 - ENERGIA CINÉTICA DA CHUVA E DA ENXURRADA	12
QUADRO 02 - HISTÓRICO DE CULTIVO PLANTIO DIRETO E CONVENCIONAL NA FAZENDA CANGUIRI, NOS ÚLTIMOS TRÊS ANOS.....	30
QUADRO 03 - QUANTIDADES E TIPOS DE ENSAIOS REALIZADOS	39
QUADRO 04 - CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS.....	44

LISTA DE TABELAS

TABELA 01 - ALTURA DE QUEDA DAS GOTAS DE CHUVA EM RELAÇÃO AO SEU DIÂMETRO E VELOCIDADE TERMINAL	11
TABELA 02 - PROPRIEDADES QUÍMICAS	45
TABELA 03 - COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA	49
TABELA 04 - RESULTADOS DOS ÍNDICES FÍSICOS.....	52
TABELA 05 - RESULTADOS DOS LIMITES DE ATTERBERG	53

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 01 - ETAPAS DO PROCESSO DE EROÇÃO CAUSADA PELO IMPACTO DA GOTA	1
FIGURA 02 - APARELHO DE INDERBITZEN DESENVOLVIDO POR INDERBITZEN (1961).....	14
FIGURA 03 - APARELHO DE INDERBITZEN UTILIZADO POR FONSECA E FERREIRA (1981).....	15
FIGURA 04 - APARELHO DE INDERBITZEN UTILIZADO POR FÁCIO (1991).....	17
FIGURA 05 - APARELHO DE INDERBITZEN UTILIZADO POR BASTOS (1999) ...	18
FIGURA 06 - APARELHO DE INDERBITZEN UTILIZADO POR FRAGASSI E MARQUES (2001).....	21
FIGURA 07 - APARELHO UTILIZADO POR FREIRE (2001)	22
FIGURA 08 - FOTO AÉREA DO CENTRO DE ESTAÇÕES EXPERIMENTAIS - FAZENDA CANGUIRI	27
FIGURA 09 - MAPA DE SOLOS DA FAZENDA CANGUIRI - 1ª APROXIMAÇÃO ...	29
FIGURA 10 - APARELHO DE INDERBITZEN	32
FIGURA 11 - FOTOGRAFIA DO SIMULADOR DE CHUVA	33
FIGURA 12 - FOTOGRAFIA DA RETIRADA DAS AMOSTRAS DE SOLO EM ANÉIS DE PVC	35
FIGURA 13 - FOTOGRAFIA DO ENSAIO COM O APARELHO DE INDERBITZEN	40
FIGURA 14 - DIAGRAMA TEXTURAL	51
FIGURA 15 - DIAFRATOGRAMA DE RAIOS-X TÍPICO DAS CAMADAS "A" E "B" DE AMBOS OS SISTEMAS DE CULTIVOS	55
FIGURA 16 - FOTOGRAFIA DO ENSAIO DE DESAGREGAÇÃO	67
FIGURA 17 - ESQUEMA DA MARCHA ANALÍTICA DA ANÁLISE TEXTURAL	77

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 01 - RELAÇÃO ENTRE O DIÂMETRO DAS GOTAS E A INTENSIDADE DE CHUVA	10
GRÁFICO 02 - RELAÇÃO ENTRE A ENERGIA CINÉTICA DA CHUVA E SUA INTENSIDADE	13
GRÁFICO 03 - CURVA TÍPICA DE PERDA DE SOLO ACUMULADA POR UNIDADE DE ÁREA X TEMPO DE ENSAIO	19
GRÁFICO 04 - DEFINIÇÃO DOS PARÂMETROS K E σ_{hc}	20
GRÁFICO 05 - PRECIPITAÇÃO MÉDIA, MAIOR E MENOR VOLUME MENSAL	28
GRÁFICO 06 - PROPORÇÕES DE BASES NO PLANTIO CONVENCIONAL - CAMADA "A"	46
GRÁFICO 07 - PROPORÇÕES DE BASES NO PLANTIO CONVENCIONAL - CAMADA "B"	47
GRÁFICO 08 - PROPORÇÕES DE BASES NO PLANTIO DIRETO - CAMADA "A"	47
GRÁFICO 09 - PROPORÇÕES DE BASES NO PLANTIO DIRETO - CAMADA "B"	47
GRÁFICO 10 - DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA	49
GRÁFICO 11 - CURVA GRANULOMÉTRICA	50
GRÁFICO 12 - PERDA DE SOLO X TEMPO – PLANTIO CONVENCIONAL	58
GRÁFICO 13 - PERDA DE SOLO X TEMPO – PLANTIO DIRETO	59
GRÁFICO 14 - VELOCIDADE DE EROÇÃO X TEMPO – PLANTIO CONVENCIONAL	61
GRÁFICO 15 - VELOCIDADE DE EROÇÃO X TEMPO – PLANTIO DIRETO	62
GRÁFICO 16 - PERDA DE SOLO X VAZÃO	63
GRÁFICO 17 - VELOCIDADE DE EROÇÃO – 5 min X VAZÃO	64
GRÁFICO 18 - PERDA DE SOLO X INTENSIDADE DE CHUVA	65
GRÁFICO 19 - VELOCIDADE DE EROÇÃO – 5 min DE ENSAIO X INTENSIDADE DE CHUVA	66

LISTA DE SIGLAS

CEEx	- Centro de Estações Experimentais
MINEROPAR	- Minerais do Paraná
IPEAME/MA	- Instituto de Pesquisa e Experimentação Agropecuária Meridion do Ministério da Agricultura
IPR	- Instituto de Pesquisas Rodoviárias
LNEC	- Laboratório Nacional de Engenharia Civil de Portugal
UnB	- Universidade de Brasília
UFRGS	- Universidade Federal do Rio Grande do Sul
UFPR	- Universidade Federal do Paraná
NOVACAP	- Companhia Urbanizadora da Nova Capital do Brasil
LMS	- Laboratório de Mecânica dos Solos
LAME	- Laboratório de Materiais e Estrutura.
EUA	- Estados Unidos da América

LISTA DE SÍMBOLOS

GES	- Grau de Erodibilidade do Solo
USLE	- Universal Soil Loss Equation (Equação Universal de Perdas de Solo)
PVC	- Cloreto de Polivinila
K	- Erodibilidade
ve	- Velocidade de Erosão
Cfb	- Subtropical Úmido Mesotérmico
Lva	- Latossolo Vermelho Amarelo
Ca	- Cambissolo Álico
Hoa	- Solo orgânico álico
Hg	- Hidromórfico Gleyzado
TFSA	- Terra Fina Seca ao Ar
TFSE	- Terra Fina Seca em Estufa
CTC	- Capacidade de Troca Catiônica ($\text{cmol}_c/\text{dm}^3$)
S	- Soma de bases ($\text{cmol}_c/\text{dm}^3$)
V	- Saturação de bases (%)
Ca^{2+}	- Cálcio ($\text{cmol}_c/\text{dm}^3$)
Mg^{2+}	- Magnésio ($\text{cmol}_c/\text{dm}^3$)
K^+	- Potássio ($\text{cmol}_c/\text{dm}^3$)
H^+	- Hidrogênio ($\text{cmol}_c/\text{dm}^3$)
Al^{3+}	- Alumínio ($\text{cmol}_c/\text{dm}^3$)
P	- Fósforo (mg/dm^3)
KCl	- Cloreto de Potássio
C	- Carbono (%)

RESUMO

O presente estudo foi desenvolvido com a finalidade de analisar e comparar a erosão superficial entre duas áreas com processos de cultivos diferentes: plantio direto e plantio convencional, através do aparelho de Inderbitzen. As análises foram realizadas no solo tipo Latossolo Vermelho Amarelo (Lva) textura argilosa fase campo subtropical relevo suave ondulado, retirado dessas áreas de cultivos, localizadas no Centro de Estações Experimentais (CEEx) - Fazenda Canguiri - Universidade Federal do Paraná (UFPR), no município de Pinhais/PR. Para cada área foram avaliadas duas camadas, com profundidades de 0,0 a 20,0 cm e de 20,0 a 40,0 cm, denominadas de "A" e "B", respectivamente. Amostras deformadas de solos, dessas duas camadas, foram submetidas à caracterização morfológica e análises mineralógicas, químicas e físicas. As amostras indeformadas retiradas apenas da camada "A", na forma de cubo, foram usadas no ensaio de desagregação e as coletadas na forma de anéis foram utilizadas no ensaio com o aparelho de Inderbitzen, onde se considerou o escoamento superficial e a ação direta das gotas de chuva, através de um simulador acoplado a esse aparelho. Essas amostras foram ensaiadas em duas condições de umidade: natural e de ressecamento. As conclusões foram: ocorreu variação quantitativa do fenômeno de erosão, devido às características do solo no plantio direto comparado com do plantio convencional; contribuição do impacto das gotas de chuva na desagregação do solo; a ineficiência do ensaio de desagregação para comparação da erodibilidade do solo, entre camadas superficiais; confirmação do emprego do aparelho de Inderbitzen para análise de erosão superficial e o solo, na condição de ressecamento, apresenta pouca influência no processo de erosão superficial, em solo agrícola, comparado com a condição de umidade natural.

Palavras-chave: Inderbitzen; erosão; plantio direto.

ABSTRACT

The present study was developed with the purpose of analyzing and comparing the superficial erosion between areas with different cultivation processes: direct plantation and conventional plantation, through of the apparel of Inderbitzen. The analyses were accomplished in of soil type Yellow Red Latosoil (Lva) texture loamy phase field subtropical wavy soft relief, removed of those cultivation areas, located in the Center of Experimental Stations (CEEx) - Farm Canguiri - Federal University of Paraná (UFPR), in the municipality of Pinhais/PR. For each area were evaluated two layers with depths of 0,0 to 20,0 cm and of 20,0 to 40,0 cm, denominated of "A" and "B", respectively. Deformed samples of soils, of those two layers, were submitted to morphologic characterization and mineralogical, chemistries and physics analyses. The samples indeformed, removed just from layer "A", in the cube form, were used in the disaggregation rehearsal and collected in ring form were used in the rehearsal with the apparel of Inderbitzen, where it was considered the drainage superficial and the direct action of the raindrops, through a simulator coupled in that apparel. Those samples were rehearsed in two humidity conditions: natural and drying. The conclusions were: occurred quantitative variations of the erosion phenomenon, due the characteristics of the soil in the direct plantation compared with of the conventional plantation; contribution of the impact of the raindrops in the disaggregation of the soil; the inefficiency of the disaggregation rehearsal for comparison of the erodibility of the soil, among superficial layers; confirmation of the employment of the apparel of Inderbitzen for analysis of superficial erosion; and that the soil, in the drying condition, presents little influence in the process of superficial erosion, in agricultural soil, compared with the condition of natural humidity.

Key words: Inderbitzen; erosion; direct plantation.

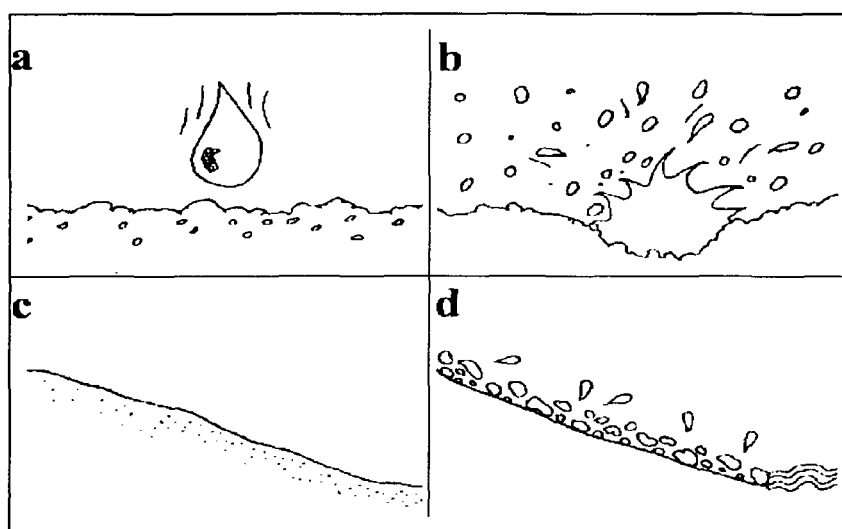
1 INTRODUÇÃO

Em constante formação, através das alterações dos substratos geológicos que são provocadas pelos agentes intempéricos, físicos, químicos e biológicos, pode-se considerar o solo como uma "camada viva". Esse processo de formação leva muitos anos e é equilibrado pela erosão lenta e natural, havendo um certo equilíbrio entre a quantidade de solo produzido e o erodido, segundo CORRÊA (2001).

A natureza procura proteger o solo com uma camada de vegetação, porém, no momento que o homem retira essa cobertura natural, através dos desmatamentos, queimadas, práticas de cultivos inadequados dos solos, exploração de minérios, execução de estradas e ocupação e desenvolvimento urbano, quebra-se esse equilíbrio milenar, provocando uma aceleração dessa erosão natural, que passa a ser conhecida como erosão antrópica ou acelerada.

Segundo DERPSCH et al (1991), em regiões de climas tropicais e subtropicais úmidas, onde há chuvas intensas e com a camada superficial desprotegida, o solo recebe todo o impacto das gotas de chuva provocando, assim, a desagregação de suas partículas e ainda, dependendo da velocidade do escoamento das águas, o transporte dessas partículas liberadas, conforme figura 01.

FIGURA 01 - ETAPAS DO PROCESSO DE EROSÃO CAUSADA PELO IMPACTO DA GOTA



FONTE: DERPSCH et al (1991)

Essas quatro etapas, demonstradas na figura 01, são as seguintes:

- a) impacto da gota da chuva no solo desprotegido;
- b) desintegração dos agregados do solo, em pequenas partículas;
- c) entupimento dos poros superficiais do solo, causando escoamento superficial das águas de chuva;
- d) carregamento das partículas do solo, que são depositadas em locais de morro abaixo.

Essa ação, provocada pelas águas da chuva, é denominada de erosão hídrica e é influenciada pelo: clima (vento, temperatura, intensidade da chuva), erodibilidade do solo (comportamento do solo em função de suas propriedades físicas, químicas e biológicas e intensidade e forma de manejo), relevo (declividade, comprimento e regularidade das encostas) e vegetação (tipo e intensidade da cobertura vegetal).

A erosão hídrica pode ocorrer de três formas, conforme MINERAIS DO PARANÁ S.A. - MINEROPAR (1998):

- a) erosão por "splash" ou de salpicamento: é o estágio inicial do processo erosivo, provocada pela ação das gotas de chuva que desprendem as partículas do solo e são expelidas a uma certa distância. Essa quebra dos agregados, em partículas menores, faz com que se preencha os poros da superfície do solo, propiciando a selagem e a diminuição da porosidade que, conseqüentemente, aumentam o escoamento das águas;
- b) erosão laminar: é a remoção da fina camada superficial do solo, de maneira quase uniforme, através de uma lâmina de água homogênea, que arrasta as partículas previamente desagregadas, no sentido da declividade do terreno;
- c) erosão linear ou concentrada: provocada pelo escoamento difuso da água sobre a superfície do terreno. Essas lâminas concentradas provocam o transporte das partículas do solo, provocando pequenos

filetes, que são intensificados a cada chuva, surgindo assim: sulcos, ravinas e voçorocas.

O fenômeno de erosão atinge, com grande intensidade, solos ocorrentes em várias regiões do país e tem efeitos devastadores, proporcionando grandes prejuízos, tanto nas áreas urbanas, por exemplo, o aumento das enchentes provocadas pelo assoreamento dos cursos d'água; quanto em áreas rurais, pela redução de áreas disponíveis para a agricultura, diminuição da produtividade por retirar os nutrientes da camada superficial e, também, por ocasionar desestímulo de novos e maiores investimentos para a melhoria dessas regiões afetadas.

Este trabalho objetivou avaliar e analisar a erosão superficial, através do aparelho de Inderbitzen, e comparar a suscetibilidade dessa, entre duas áreas com processos de cultivos diferentes: uma com plantio direto e a outra com plantio convencional.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 SISTEMAS DE CULTIVO

Os sistemas existentes de preparo do solo afetam de forma diferente o processo erosivo, devido às diversas intensidades de movimentação, da quantidade de restos culturais e das modificações físicas causadas no solo.

O preparo do solo, segundo MUZILLI (1985), pode ser definido como a manipulação física, química ou biológica do solo, utilizando-se várias técnicas adequadas, que permite a alta produtividade das culturas a baixo custo.

Nos últimos anos têm-se adotado o plantio direto por ser uma técnica rentável e por combater a erosão, mas alguns produtores, ainda, tradicionalmente mantêm o plantio convencional.

De acordo com MACHADO (2001), os conceitos dessas duas técnicas são:

a) plantio convencional: é o preparo do solo que utiliza aração e gradagem, possibilitando assim, a semeadura e crescimento da cultura implantada sem a concorrência, por nutrientes e águas, com as plantas indesejáveis (conhecidas por planta daninha, erva daninha, inço ou mato). O arado é usado para o controle de plantas daninhas, que por revolver o solo permite eliminá-las. A gradagem permite a colocação das sementes com mais facilidade. No plantio convencional, a superfície do solo, depois de lavrada, fica solta, desagregada e exposta por vários períodos às condições do clima local. Sabe-se que um terço da quantidade de chuva que cai durante o ano todo (500 a 600 mm), em várias regiões da Europa, pode cair em apenas 12 h em algumas regiões do Brasil. O solo desprotegido, sem cobertura vegetal, em uma região tropical e com ocorrência de chuvas com alto potencial erosivo é uma situação propícia para o processo de erosão;

b) plantio direto: é uma nova técnica de preparo do solo. Na época de plantio, aplica-se herbicida para eliminação da vegetação existente, espalha-se com roçadeira ou rolo-faca e rasga-se em linha a palha seca, usando-se semeadeiras especiais. Em seguida, coloca-se as sementes e o fertilizante no sulco e depois se realiza a colheita, movimentando, dessa forma, o mínimo possível o solo. A principal vantagem desse sistema é que o solo fica protegido da erosão, por ficar coberto por palha, que amortece o impacto das gotas de chuva.

CASTRO (1985) esclarece que o plantio convencional foi criado na Europa, onde o clima é frio ou temperado, topografia pouco acidentada e chuvas com energia cinética baixa, sendo implantada nos trópicos sem nenhuma modificação. Porém, esse sistema, que é um sucesso para os europeus, trouxe, para as regiões tropicais úmidas e subtropicais, o problema de erosão do solo, quando manejado de maneira inadequada.

MUZILLI (1985) relatou que as experiências, com plantio direto, surgiram no Brasil em 1971, no Estado do Paraná, quando o Instituto de Pesquisas e Experimentação Agropecuária Meridional do Ministério da Agricultura – IPEAME/MA realizou pesquisas nas regiões das cidades de Londrina e Ponta Grossa.

MARQUES e BERTONI (1961), verificaram que existe uma relação direta entre a erosão e a movimentação de solo. Os efeitos dos sistemas de preparo nas perdas de solo foram obtidos em relação as médias na base de 1300 mm de chuva e declividade de 10,8%, sendo que os resultados foram: com duas arações com arado de aiveca, houve perdas de 14,6 t/ha de solo, com apenas uma aração, as perdas foram de 12,0 t/ha e por último, com aração de subsuperfície (aiveca sem relha tombadora), houve perda de 8,6 t/ha de solo.

BISCAIA (1978) observou que no preparo mínimo, duas passadas de grade leve, reduziu-se as perdas de solo em 37% e no plantio direto, por haver cobertura de solo, reduziu-se 87%, em relação ao sistema de cultivo convencional. Evidenciando, assim, que a permanência de resíduos na camada superficial reduz as perdas de solo.

A mesma tendência foi observada por LOMBARDI NETO et al (1980), onde mostraram que o plantio direto reduziu em 63% e 75% as perdas de solo, em relação ao convencional, no Latossolo Roxo e Podzólico Vermelho Amarelo, confirmando a vantagem desse sistema no controle de erosão.

WUNSCHÉ e DENARDI (1978), com os resultados encontrados, verificaram a redução nas perdas de solo preparado na ordem de 5 t/ha.ano, em média, pela simples incorporação da palha e quando a mesma foi conservada na superfície do solo, reduziu-se 7 t/ha.ano.

Segundo VIEIRA (1985), o preparo e uso do solo alteram as suas características físicas, divergindo, cada vez mais, do seu estado natural, isso por atuar diretamente na sua estrutura. KEMPER e VIEIRA (1979) verificaram que no plantio convencional, com o uso de equipamentos maiores e mais pesados e como ao longo dos anos, a aração sempre feita a uma mesma profundidade, houve o surgimento de uma camada mais adensada e um aumento da massa específica aparente do solo, na região de 15 a 25 cm de profundidade.

Segundo VIEIRA e MUZILLI (1984) houve uma tendência do plantio direto de apresentar a densidade específica aparente do solo e microporosidade maiores a uma profundidade de até 15 cm e, abaixo desta camada, os valores não apresentaram diferenças significativas entre os dois sistemas.

PEDROTTI et al (1998) trabalharam em um experimento, onde foram comparados, com a testemunha, cinco tipos de tratamentos diferentes (T_1 - sistema tradicional de cultivo de arroz irrigado: um ano de arroz com preparo convencional, seguido de dois anos com pousio da área; T_2 - sistema de cultivo contínuo de arroz no preparo convencional; T_3 - sistema de cultivo de arroz com rotação de culturas e no preparo convencional: arroz x soja x milho; T_4 - sucessão de culturas: azevém no inverno x arroz no verão, em sistema de semeadura direta; T_5 - sucessão de culturas: um ano de soja no plantio convencional x arroz no sistema de semeadura direta). Observaram um aumento, praticamente linear, dos valores de resistência mecânica à penetração nos tratamentos, onde o preparo do solo foi feito no sistema

convencional, entre as profundidades de 2 a 16 cm. Os autores puderam concluir que os sistemas de preparo reduzido do solo, mais especialmente, o plantio direto com resteva do azevém (tratamento T₄), favoreceram para a obtenção das melhores condições físicas do solo, em relação à resistência mecânica do solo à penetração. Já, os sistemas de preparo convencional de solo (especialmente o tratamento T₂) contribuíram para a degradação física do solo, propiciando o surgimento de camadas compactadas. Esse fato é ocasionado pelo não revolvimento do solo no plantio direto e também pelo uso de máquinas (pulverizadores, semeadeiras e colheitadeiras) sobre o solo com umidade inadequada.

SCHULTZ (1987) afirmou que no plantio direto a evaporação é reduzida e é mais difícil de perder água devido à palha seca sobre a superfície do solo, que evita a incidência direta dos raios solares. Portanto, a permeabilidade e a quantidade necessária de matéria orgânica se mantêm em níveis adequados para o desenvolvimento das raízes, favorecendo a diminuição das perdas de solos.

VIEIRA e MUZILLI (1984) e SIDIRAS et al (1984) verificaram que, no plantio direto, há uma estabilidade dos agregados do solo, até uma profundidade de 15 cm e, portanto, há uma diminuição dos problemas com a desagregação das partículas e selamento da camada superficial do solo. As hipóteses formuladas por esses autores são de que:

- a) não há destruição da estrutura do solo, devido o revolvimento da camada arável pelos maquinários;
- b) a estrutura do solo é afetada positivamente pela maior concentração de cátions Ca^{2+} e Mg^{2+} próximo à superfície do solo;
- c) uma maior resistência à desagregação, devido o aumento da densidade do solo;
- d) a estrutura do solo é protegida por uma cobertura morta que diminui sensivelmente o impacto das gotas de chuva;
- e) favorecimento da agregação do solo pela presença constante de material orgânico;

- f) maior quantidade de coprólitos (fezes) das minhocas, agregado de bastante estabilidade, devido um número significativo desse anelídeos.

PRATA et al (1996) relataram que o carbono orgânico se distribui de forma diferente nos dois sistemas de plantio, sendo que este elemento se apresenta mais estratificado na superfície, decrescendo com maior grau à medida que a profundidade aumenta no plantio direto e se encontra mais homogeneamente distribuído no perfil do plantio convencional, devido o revolvimento do solo.

Lal (1976), Juo e Lal (1979) e Blevins et al (1983), citados por CASTRO et al (1987), também encontraram diferenças na distribuição da matéria orgânica nesses dois sistemas de cultivo. Sendo que os solos estudados com o plantio direto estavam a muito tempo sob esse sistema. Contudo, CASTRO et al (1987) não observaram diferenças significativas no teor de matéria orgânica, entre o plantio direto e o plantio convencional. Segundo esses autores, o pouco tempo de plantio direto (três anos) deve ter sido a razão para explicar a igualdade na quantidade de matéria orgânica entre esses dois sistemas.

SILVEIRA et al (1998) realizaram um experimento de perdas de solo e água em diferentes sistemas sob plantio direto em Santa Maria, no estado do Rio Grande do Sul. Observaram que o solo descoberto teve uma perda de 723,17 t/ha.5anos, ou seja, 4,82 cm de solo e concluíram que, em solos propensos à erosão, o plantio direto deve, necessariamente, estar associado à utilização de plantas de cobertura do solo. Ficando evidenciado que é uma estratégia eficiente de manejo de solo, por favorecer a infiltração da água, diminuindo o escoamento superficial e a erosão.

2.2 SIMULADORES DE CHUVA

A ação da chuva é um dos principais fatores, além da geomorfologia e as características dos materiais inconsolidados, que mais contribui para erosão do solo.

FENDRICH et al (1991) relacionaram os vários efeitos dinâmicos da contribuição da chuva no processo erosivo, como:

- a) destaque do solo desprotegido, pelo impacto das gotas de chuva;
- b) desagregação do solo superficial, pelo escoamento superficial direto;
- c) capacidade de transporte da chuva e do escoamento superficial, sobre o solo destacado;
- d) desmonte de maciço e desagregação do subsolo, pelo escoamento subterrâneo, devido o lençol freático;
- e) capacidade de provocar deslizamento e quedas de maciços arenosos, no pé dos taludes, devido às águas subterrâneas.

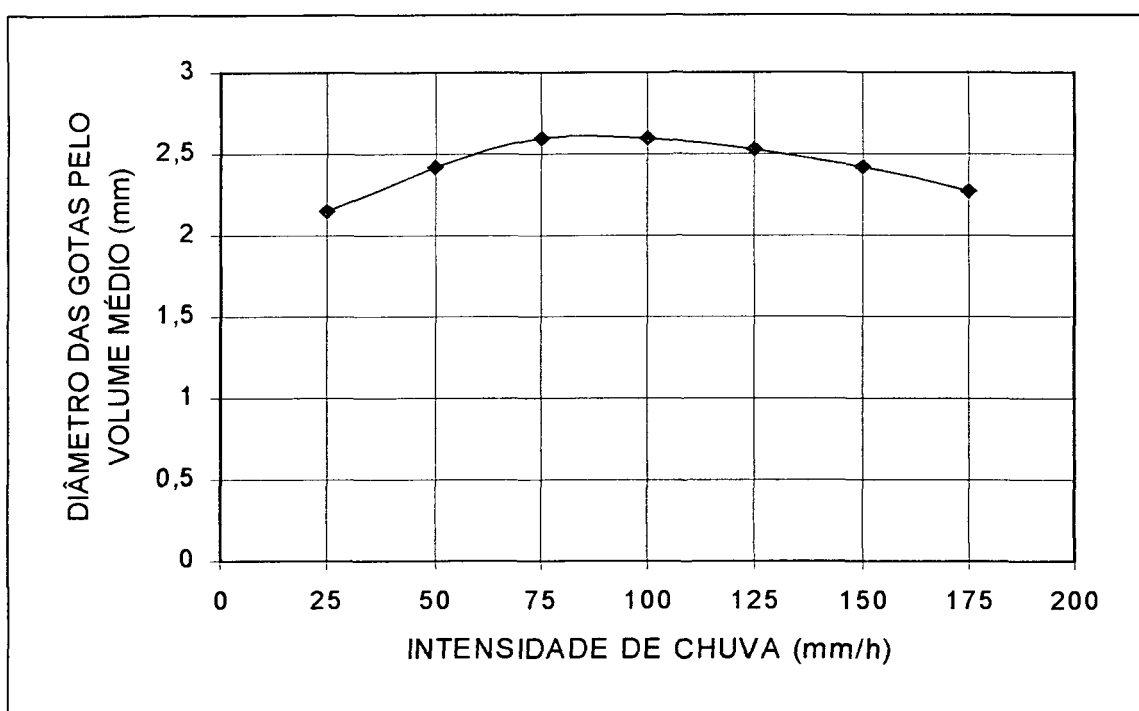
Para a avaliação do fenômeno de erosão é preciso considerar a ação da chuva, onde o método mais simples e barato, após a instalação do experimento, é esperar pela chuva natural. Porém, a imprevisibilidade da chuva pode ser frustrante, por isso, uma alternativa, bastante usual, é a chuva artificial, produzida pelos simuladores de chuva. As principais vantagens desse sistema são: a rapidez na obtenção dos resultados e o controle do tipo e quantidade de chuva, de acordo com BERTONI e LOMBARDI NETO (1990).

Segundo os autores HUDSON (1993) e MEYER (1994), as características mais importantes da chuva natural, que precisam ser simuladas, para o uso em estudos de erosão superficial são:

- a) intensidade: não se distribui uniformemente e pode variar rapidamente numa mesma chuva natural. Intensidades baixas são pouco importantes para as pesquisas de erosão e intensidade muito altas são tão raras que não haveria nenhum interesse. Não é prático ou necessário construir simuladores com habilidade de mudar a intensidade, durante um mesmo teste. Normalmente são utilizadas intensidades de 25 mm/h para simular chuva em regiões de clima temperado e 75 mm/h para chuva em regiões de clima tropical ou semitropical;
- b) tamanho: as gotas de chuva possuem diâmetros bastante variáveis, que podem ser próximo a zero, em forma de névoa, chegando atingir um valor máximo de 6 a 7 mm. Não são esféricas, pois há grande

instabilidade nas gotas grandes que se dividem no ar devido as variações de pressão e resistência do ar. A razão entre o diâmetro médio e volume das gotas está entre 2 a 3 mm e varia com a intensidade, sendo que esse valor aumenta até a intensidade de chuva de 75 mm/h e diminui com valores superiores a esse, conforme o gráfico 01;

GRÁFICO 01 - RELAÇÃO ENTRE O DIÂMETRO DAS GOTAS E A INTENSIDADE DE CHUVA



FONTE: Adaptado de HUDSON (1993)

- c) velocidade de queda: as gotas de chuva alcançam uma velocidade máxima, quando a força da aceleração gravitacional é igualada a resistência do ar. Para alcançar a velocidade terminal, de uma gota de chuva, é preciso determinar a distância que a mesma deverá percorrer. LAWS (1941) não conseguiu determinar exatamente a distância que uma gota deve percorrer, em sua queda, para alcançar sua velocidade terminal. Porém, chegou a medir, através de um método fotográfico, a altura que as gotas, de tamanhos diferentes, precisavam para obter

95% de sua velocidade terminal, conforme tabela 01. Foi possível observar que a velocidade terminal está em função do tamanho da gota e pode chegar a mais de 9 m/s para gotas maiores. Pode-se verificar, também, que uma gota de chuva comum, de 2 mm de diâmetro, deve cair de uma altura mínima de 5 m para alcançar a sua velocidade terminal de 6,5 m/s;

TABELA 01 - ALTURA DE QUEDA DAS GOTAS DE CHUVA EM RELAÇÃO AO SEU DIÂMETRO E VELOCIDADE TERMINAL

DIÂMETRO DA GOTA DE CHUVA (mm)	VELOCIDADE TERMINAL (m/s)	ALTURA DA QUEDA, ONDE A GOTA DE ÁGUA OBTÉM 95% DE SUA VELOCIDADE TERMINAL (m)
1	4,0	2,2
2	6,5	5,0
3	8,1	7,2
4	8,8	7,8
5	9,1	7,6
6	9,3	7,2

FONTE: Adaptado de LAWS (1941)

d) energia cinética da chuva: é a somatória das energias cinéticas de cada gota individualmente. A energia de uma gota de chuva isolada, quando cai na superfície do solo, é igual ao semiproduto da sua massa pelo quadrado de sua velocidade. MONDARDO e VIEIRA (1975) e CORRÊA (2001) relataram que a erosividade da chuva está relacionada a uma força vertical (Energia Cinética), originada pelo impacto das gotas sobre o terreno e outra horizontal (Energia Hídrica da Água) ocasionada pelo escoamento superficial sobre o relevo. Hudson (1973), citado por BERTONI e LOMBARDI NETO (1990), realizou a comparação da

energia cinética disponível da chuva com a da enxurrada na superfície, conforme quadro 01. Com esses dados percebe-se o predomínio da energia cinética da chuva, em que a energia cinética da enxurrada na superfície é 256 vezes menor, aproximadamente, pois os números usados para os cálculos foram baseados na percentagem de enxurrada e nas velocidades admitidas.

QUADRO 01 - ENERGIA CINÉTICA DA CHUVA E DA ENXURRADA

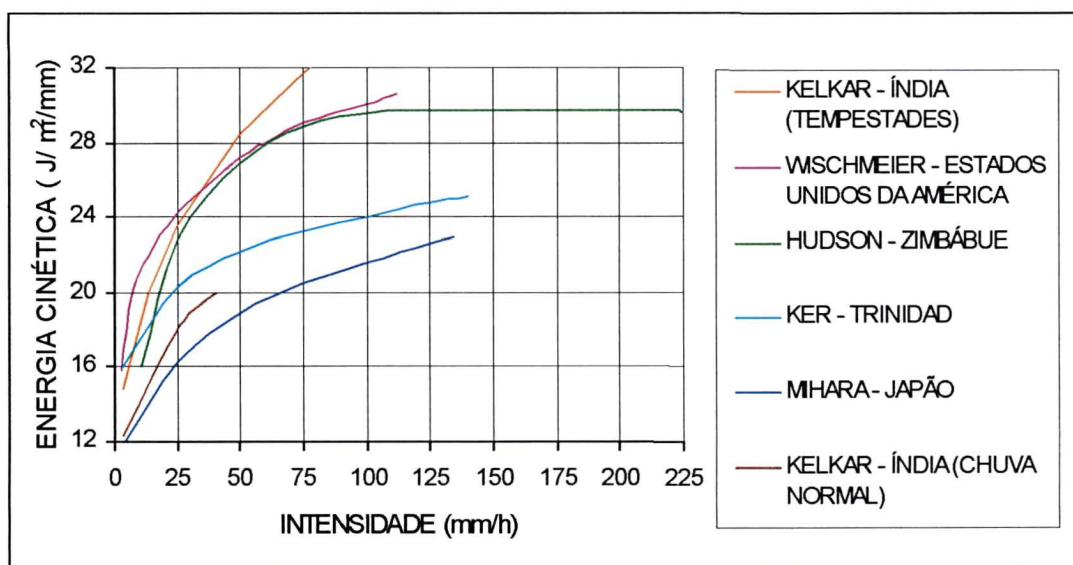
FENÔMENO	MASSA	VELOCIDADE	ENERGIA CINÉTICA ⁽¹⁾
CHUVA	Supondo a massa de queda da chuva = m_c	Supondo uma velocidade terminal de 8,0 m/s	$1/2 \times m_c \times (8)^2 = 32 m_c$
ENXURRADA	Supondo 25% de enxurrada e a massa da enxurrada = $m_c/4$	Supondo a velocidade de escoamento de 1 m/s	$1/2 \times m_c/4 \times (1)^2 = m_c/8$

FONTE: Adaptado de Hudson (1973) apud BERTONI e LOMBARDI NETO (1990)

⁽¹⁾ Energia Cinética = $1/2 \times \text{massa} \times (\text{velocidade})^2$

A relação entre a energia cinética da chuva e intensidade foi estudada em vários países, conforme o gráfico 02. Essas variações geram dúvidas sobre quanto são reais as diferenças, devido os vários métodos e técnicas empregadas nas medições. Observa-se que a relação geral é que haja um aumento de energia cinética com a intensidade até 75 mm/h e, com um pequeno ou nenhum aumento, as intensidades maiores. Esse limite de 75 mm/h é consequência do limite superior do tamanho das gotas de chuva, sendo que as intensidades mais altas possuem mais gotas, mas não de tamanhos maiores, segundo HUDSON (1981).

GRÁFICO 02 - RELAÇÃO ENTRE A ENERGIA CINÉTICA DA CHUVA E SUA INTENSIDADE



FONTE: Adaptado de HUDSON (1981)

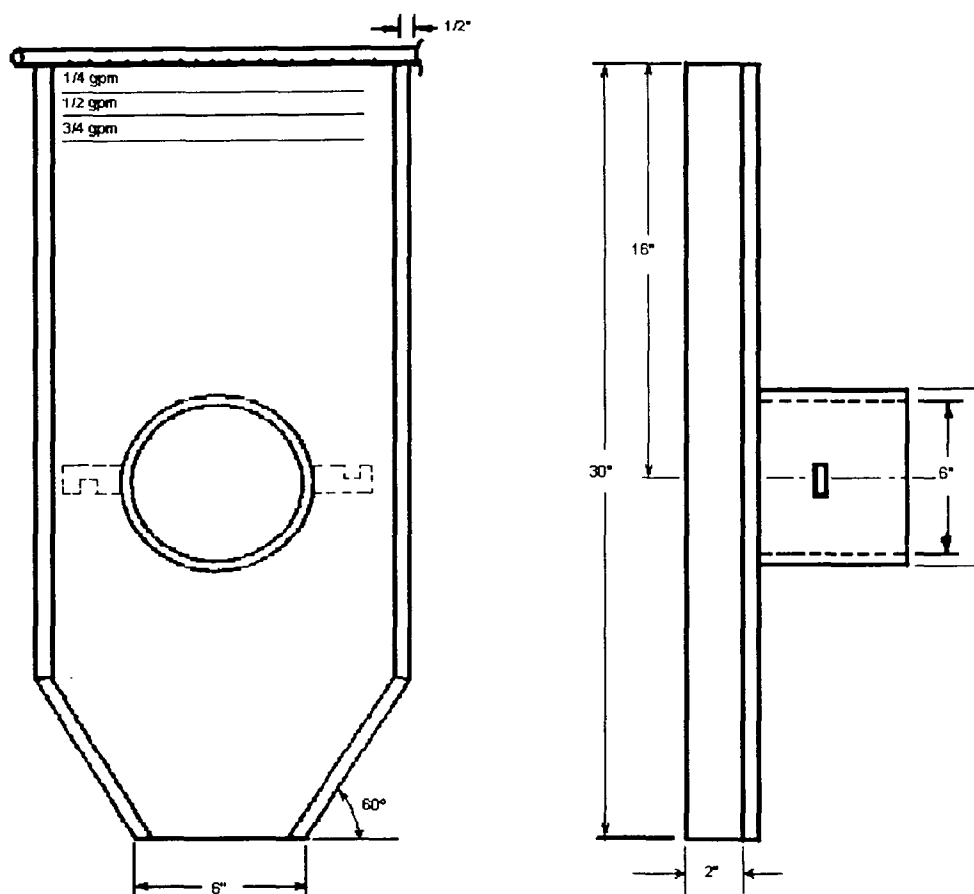
e) distribuição da chuva: é desejável que haja uniformidade nas características, intensidade e distribuição da chuva sobre todo o experimento.

MEYER (1994) relatou que não se deve esperar alcançar todas as características da chuva natural, ao utilizar os simuladores de chuva, pois, o objetivo da pesquisa utilizando os simuladores deve ser a obtenção de dados precisos e úteis e não a perfeição dos mesmos.

2.3 ENSAIO COM O APARELHO DE INDERBITZEN

INDERBITZEN (1961) iniciou os ensaios de erodibilidade do solo através de um equipamento, denominado de aparelho de Inderbitzen. Esse equipamento é formado por uma rampa metálica de 76,20 cm de comprimento, com possibilidade de variar sua inclinação e um furo central com 15,24 cm de diâmetro, para a fixação da amostra coletada em anel metálico. O fluxo de água, que simula o escoamento superficial, sai de um tubo de cobre perfurado, cujo comprimento é igual a largura da rampa, colocado na parte superior da mesma, conforme figura 02.

FIGURA 02 - APARELHO DE INDERBITZEN DESENVOLVIDO POR INDERBITZEN (1961)



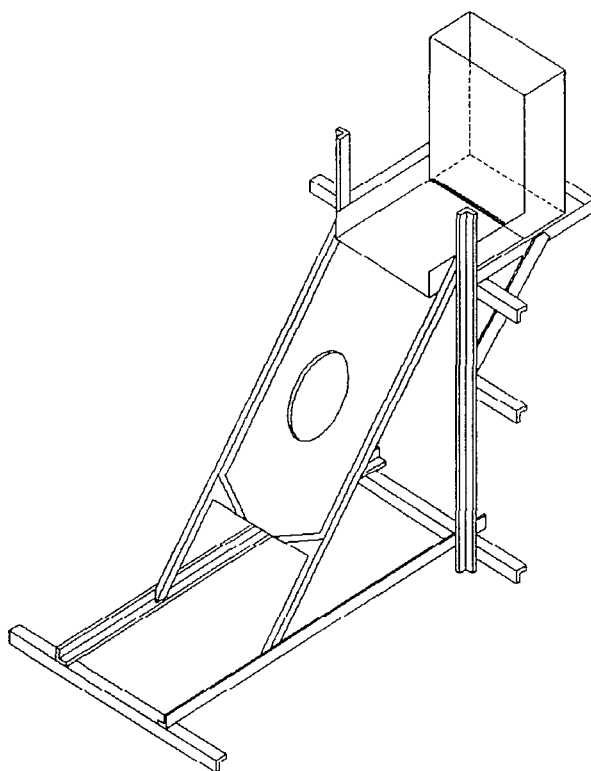
FONTE: INDERBITZEN (1961)

Esse ensaio permite observar e comparar o processo erosivo entre diferentes tipos de solo, que depois de coletados, em anéis de mesmo diâmetro que o furo na rampa, são colocados de maneira que a superfície da amostra coincida com o plano da rampa, por onde passa o fluxo de água. Esse aparelho simula uma situação quase real de como o solo se comporta sob o fluxo superficial. Parâmetros como a declividade da rampa, vazão e duração do fluxo da água e a condição do solo (com ou sem proteção superficial, compactado, umidade e outros) podem ser variados.

Segundo INDERBITZEN (1961), devido a falta de precisão do teste, os resultados devem ser considerados qualitativamente, pois indica com rapidez como o solo, situado em encosta, se comportará, frente as forças erosivas da enxurrada, quando exposto as variações dos parâmetros acima mencionados. Comenta, ainda, que poderá ser simulada a ação da chuva, através de um irrigador tipo chuveiro, colocado sobre o aparelho.

De acordo com BASTOS (1999), o aparelho de Inderbitzen foi utilizado pela primeira vez no Brasil, como ensaio de avaliação de erodibilidade, no período de 1975 a 1978, através da pesquisa sobre "Estabilidade de Taludes" realizada pelo Instituto de Pesquisas Rodoviárias – IPR. Esse equipamento foi trazido pelo engenheiro Salomão Pinto e construído com base no aparelho esboçado pelo Laboratório Nacional de Engenharia Civil de Portugal – LNEC, cuja dimensões da rampa eram: 78 cm de comprimento e 34 cm de largura, conforme figura 03.

FIGURA 03 - APARELHO DE INDERBITZEN UTILIZADO POR FONSECA E FERREIRA (1981)



FONTE: Adaptado de FONSECA e FERREIRA (1981)

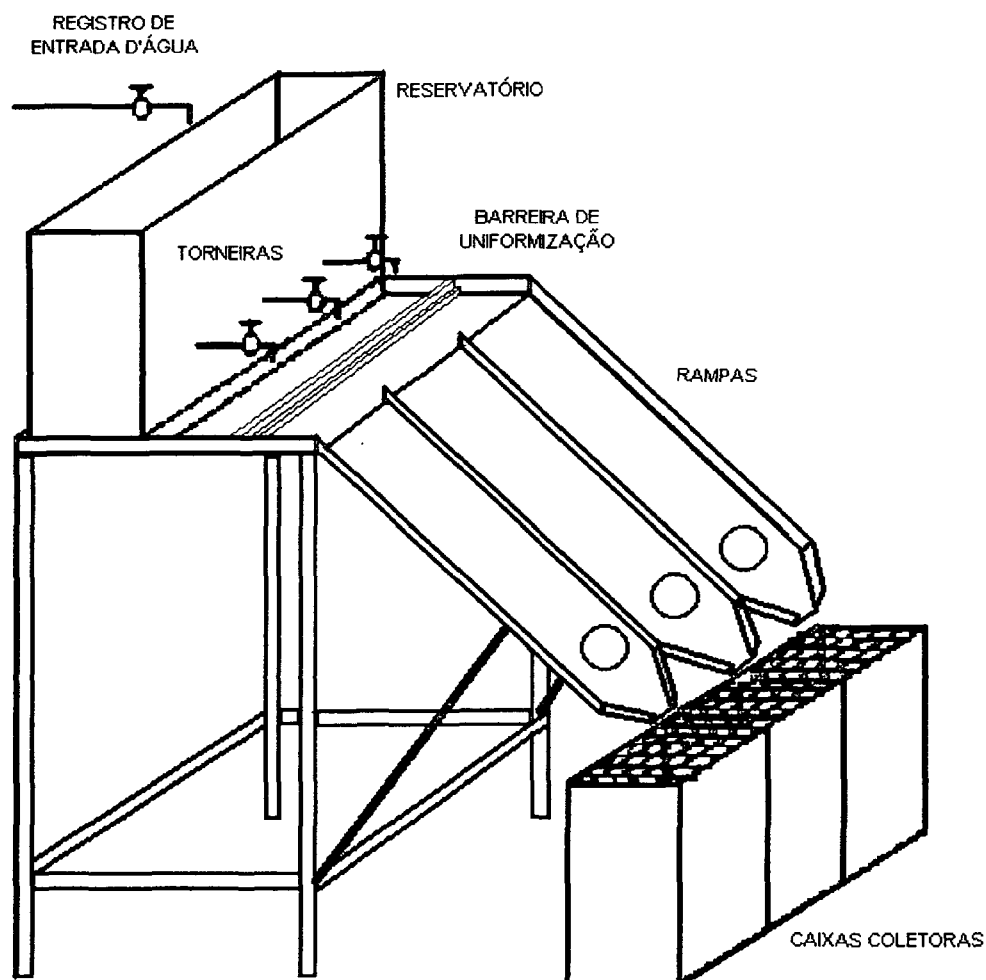
Os ensaios foram executados em solos do talude da Rodovia Presidente Dutra – BR 116 no Rio de Janeiro, em amostras com diâmetro de 15,24 cm e altura de 4,6 cm e sob três condições de umidade: natural, pré-saturada e ressecamento prévio. Duas séries de ensaios foram executados com a rampa a 44° e 59° de declividade, considerou-se, para cada série, vazões entre 59 e 314 cm³/s e tempos de 5, 15, 30, 60 e 120 min de ensaio, conforme descritos em BRASIL (1979) e

FONSECA e FERREIRA (1981). Os resultados obtidos foram expressos em gráficos de perda de solo por tempo, velocidade de erosão versus o tempo e também velocidade de erosão, calculados para 5 min de ensaio, pela vazão.

FONSECA e FERREIRA (1981) verificaram que: o aparelho de Inderbitzen mostrou-se um útil instrumento na determinação da erodibilidade dos solos estudados; a velocidade de erosão (v_e) foi inversamente proporcional à resistência do solo; através da plotagem do gráfico de velocidade de erosão e vazão foram observadas faixas distintas; com relação a erosão, para solos com diferentes comportamentos em campo, nas amostras pré-saturadas não se constatou um comportamento marcante, comparadas com as amostras na condição de umidade natural e a influência do pré-resssecamento na erodibilidade do solo foi bastante sensível.

FÁCIO (1991) utilizou um aparelho, construído em convênio com a Universidade de Brasília – UnB e a empresa Companhia Urbanizadora da Nova Capital do Brasil – NOVACAP, com algumas alterações em relação ao equipamento do IPR: utilização de três rampas paralelas, possibilitando a realização de três ensaios simultaneamente, bacia de uniformização de fluxo, fixação roscável das amostras nas rampas, redução da largura da rampa para 33 cm, aumento do comprimento da rampa para 130 cm e redução do diâmetro das amostras para 10 cm, conforme figura 04. Os solos ensaiados eram de locais com problemas de erosão, situadas no Distrito Federal e foi proposto, pelo autor, a normatização do ensaio de Inderbitzen, fixando alguns parâmetros, como: vazão de 50 ml/s, tempo de ensaio de 20 min, declividade de 10° , tempo de pré-umedecimento das amostras (embebimento) igual a 15 min, com o objetivo de anular as eventuais forças de sucção presentes nas amostras em seus estados naturais e propõe ainda, que os resultados sejam plotados em gráficos de perda acumulada de solo ($\text{g/mm}^2 \times 10^{-3}$) pelo tempo em minutos.

FIGURA 04 - APARELHO DE INDERBITZEN UTILIZADO POR FÁCIO (1991)



FONTE: Adaptado de FÁCIO (1991)

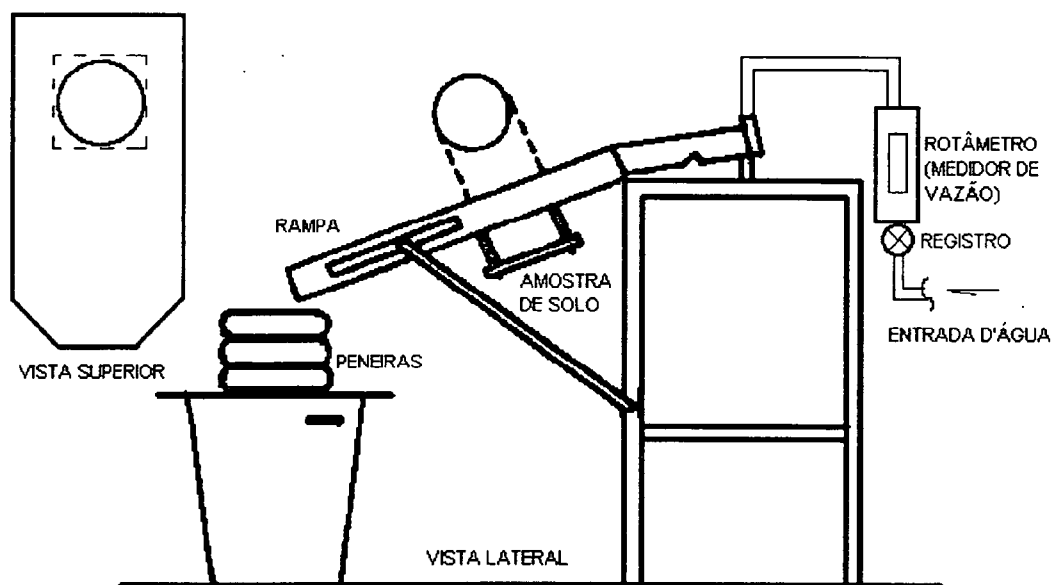
FÁCIO (1991), com os valores encontrados constatou que a perda de solo aumenta quando: o grau de saturação diminui, a vazão aumenta e a inclinação da rampa é mais acentuada e ainda, verificou que a perda de solo é mais significativa (65% da perda total) nos primeiros 5 min de ensaio.

SANTOS (1997) utilizou o mesmo equipamento de FÁCIO (1991), porém, com algumas alterações: redução da largura da rampa para 10 cm, para que o fluxo de água escoasse apenas sobre a amostra, vazão de 17,5 ml/s e tempo de 30 min. As amostras ensaiadas foram de regiões com problemas de erosão em Goiânia, no estado de Goiás e os resultados obtidos mostraram que se pode identificar os horizontes mais susceptíveis à erosão por fluxo superficial. O ensaio apresentou,

ainda, semelhança com as condições de campo e indicou valores próximos para os horizontes superficiais, que são os mais intemperizados e nos horizontes subsuperficiais demonstrou comportamentos diferentes, devido a anisotropia dos substratos rochosos.

BASTOS (1999) usou um equipamento, construído no Laboratório de Mecânica dos Solos – LMS na Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, que possui uma rampa de 25 cm de largura, 60 cm de comprimento e com articulação que permite a variação da declividade de 0° a 54°. Os anéis são de Cloreto de Polivinila - PVC biselado com diâmetro de 9,76 cm e altura de 5 cm. O fluxo de água é alimentado pela rede hidráulica e a vazão é controlada por um registro e rotâmetro, conforme figura 05.

FIGURA 05 - APARELHO DE INDERBITZEN UTILIZADO POR BASTOS (1999)

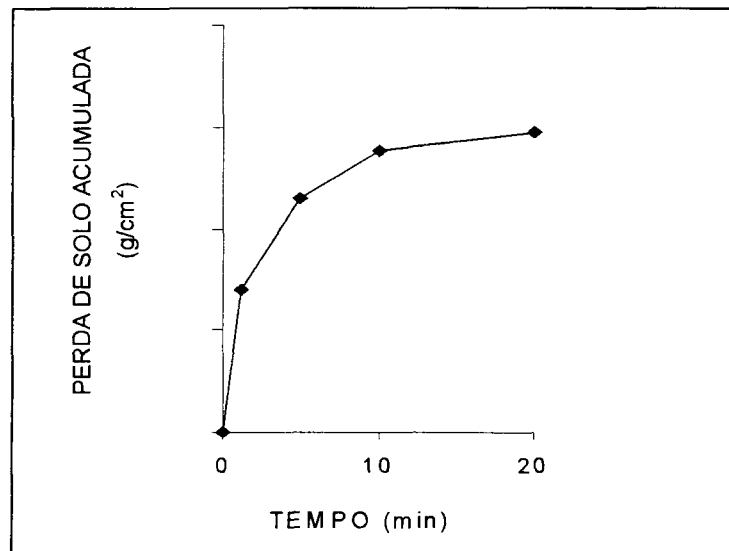


FONTE: Adaptado de BASTOS (1999)

Todo o material erodido passa por um conjunto de peneiras com malhas de 4,8; 2,0; 0,42 e 0,074 mm, respectivamente e a água é coletada em recipientes de 60 litros. As variáveis utilizadas foram: inclinação da rampa de 10°, 26°, 45° e 54°, vazão de 3 e 6 l/min, as amostras sob condições de umidade natural, seca ao ar por 72 h e umedecidas por 24 h e os tempos de realização do ensaio foram: 1, 5, 10 e 20 min.

Os resultados foram expressos em peso seco do solo erodido acumulado pela área da amostra (g/cm^2) e plotados em relação ao tempo de ensaio (min), conforme gráfico 03.

GRÁFICO 03 - CURVA TÍPICA DE PERDA DE SOLO ACUMULADA POR UNIDADE DE ÁREA X TEMPO DE ENSAIO



FONTE: Adaptado de BASTOS (1999)

BASTOS (1999) observou que houve uma perda de solo maior nos tempos iniciais e que, a mesma, em geral, se estabilizou após os 10 min de ensaio. Calculou, entre os trechos 0 a 1 min e 0 a 10 min, os gradientes de erosão: perda de solo seco erodido por unidade de área da amostra por unidade de tempo do ensaio ($\text{g/cm}^2/\text{min}$). Esses dados de perda de solo (em $\text{g/cm}^2/\text{min}$), de cada ensaio, foram plotados pela tensão cisalhante hidráulica atuante no ensaio (σ_h em Pa)¹, que foi estimada por:

$$\sigma_h = \gamma_a \cdot h \cdot d \quad (01)$$

¹ É a tensão cisalhante exercida pelo fluxo no contorno do canal, sendo a *tensão cisalhante hidráulica crítica* a máxima tensão que o solo pode sofrer sem haver movimento das partículas na superfície. A *taxa de erosão* representa o gradiente da relação estabelecida entre a tensão cisalhante aplicada e a perda de solo medida, BASTOS (1999).

Onde: γ_a = peso específico da água (N/cm³)

h = altura da lâmina do fluxo (cm)

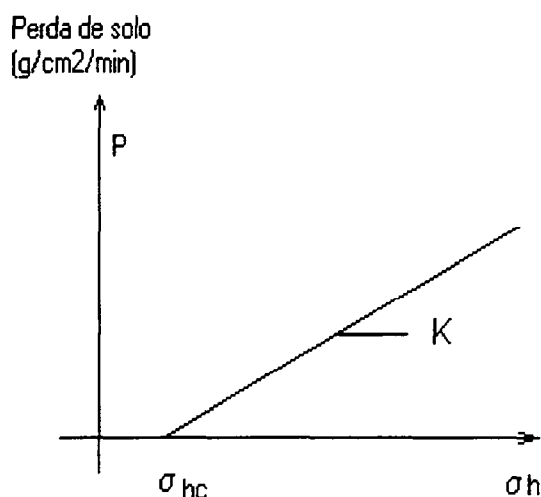
d = declividade da rampa (%).

Sendo que a altura da lâmina do fluxo foi estimada pela velocidade de escoamento (v), vazão (Q) e a largura da rampa (L):

$$h = \frac{Q}{v \cdot L} \quad (02)$$

Aos dados plotados no gráfico σ_h x perda de solo é ajustada uma reta que representa a equação Du Boys (equação 01). Os parâmetros de erodibilidade: K (g/cm²/min/Pa) - gradiente da perda de solo em relação às tensões cisalhantes hidráulicas aplicadas e σ_{hc} (Pa) - tensão cisalhante hidráulica crítica que corresponde ao valor máximo de tensão cisalhante hidráulica (σ_h) para a erosão nula, foram estimados a partir desta reta de ajuste, conforme gráfico 04.

GRÁFICO 04 - DEFINIÇÃO DOS PARÂMETROS K E σ_{hc}



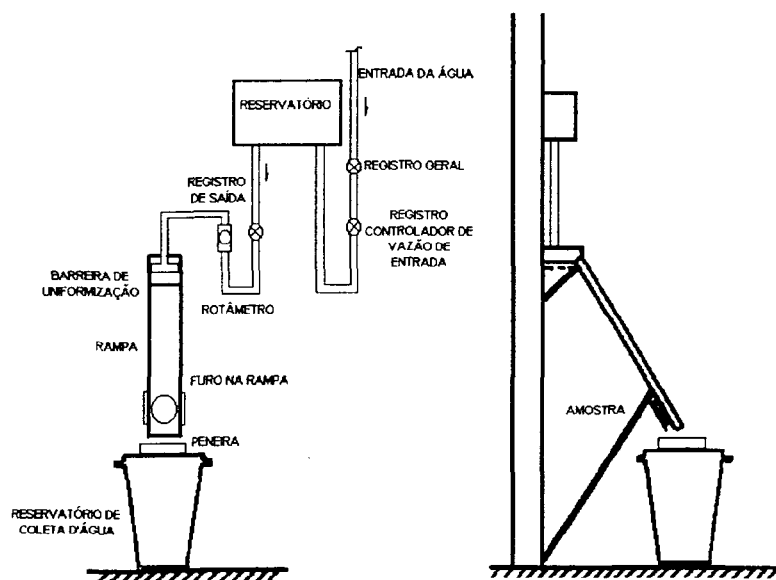
FONTE: Adaptado de BASTOS (1999)

O autor propõe um critério de erodibilidade em relação aos resultados da taxa de erodibilidade (K) obtidos nas amostras em condições de umidade natural, onde:

$K < 0,001 \text{ g/cm}^2/\text{min}/\text{Pa}$	- Solos de Baixa Erodibilidade
$0,001 \leq K \leq 0,1 \text{ g/cm}^2/\text{min}/\text{Pa}$	- Solos de Mediana Erodibilidade
$K \geq 0,1 \text{ g/cm}^2/\text{min}/\text{Pa}$	- Solos de Alta Erodibilidade

FRAGASSI e MARQUES (2001), visando proporcionar facilidade de operação e uso, baixo custo e a diminuição da concentração do fluxo da rampa, através de uma barreira de uniformização, alteraram o aparelho de Inderbitzen original. Esse equipamento é formado por uma rampa de 15,2 cm de largura e 120 cm de comprimento, o furo está localizado no final da rampa e é de 15 cm de diâmetro, o material usado foi chapa de PVC (200 cm x 100 cm x 0,8 cm de espessura), anéis metálicos de pouca altura, o fluxo de água é alimentado por um reservatório elevado e o controle da vazão é feito por um rotâmetro, conforme figura 06.

FIGURA 06 - APARELHO DE INDERBITZEN UTILIZADO POR FRAGASSI E MARQUES (2001)



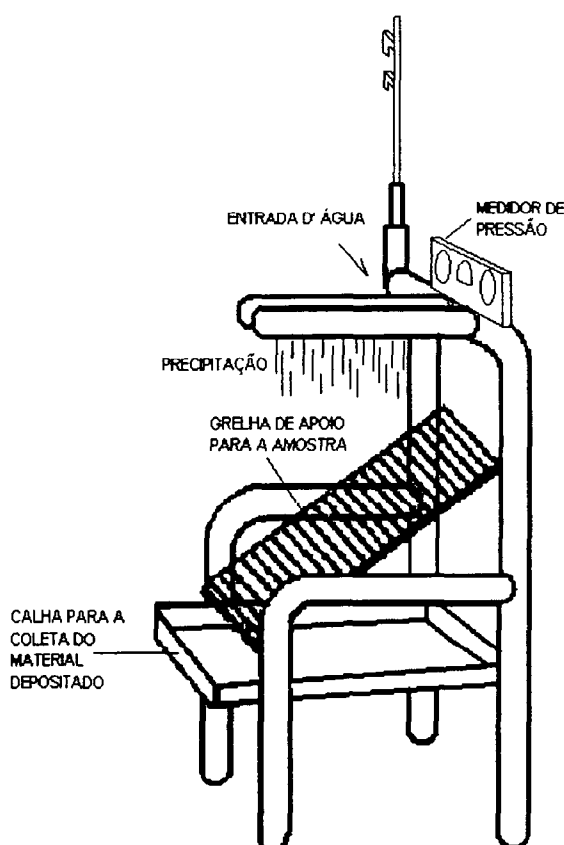
FONTE: Adaptado de FRAGASSI e MARQUES (2001)

Os autores recomendam, de acordo com o objetivo da pesquisa de desenvolver um aparelho de Inderbitzen mais versátil, para facilitar a execução dos ensaios e ampliar o estudo dos processos erosivos, que esse equipamento, por ser facilmente desmontado e transportado, pode ser instalado em laboratórios itinerantes e os ensaios preliminares realizados, no mesmo, mostrou um favorável e

satisfatório desempenho.

FREIRE (2001) propõe um ensaio que represente as condições do solo no campo, durante as precipitações atmosféricas. Esse novo ensaio foi chamado, pelo autor de "Grau de Erodibilidade do Solo – GES" e simula o fenômeno da desagregação das partículas, pelo impacto das gotas de chuva. Utiliza um equipamento que consiste de uma estrutura tubular, onde é apoiada a rampa (com apenas duas possibilidades de inclinação), na qual fica disposta a amostra indeformada de forma prismática sob duas linhas de "chuveiramento", a uma altura de 20 cm, obtida por tubos perfurados, sendo a pressão controlada por um manômetro. Abaixo da rampa de apoio da amostra são colocados os recipientes para coleta de água e dos sedimentos erodidos, que posteriormente é escoado para outro recipiente para decantação, conforme figura 07.

FIGURA 07 - APARELHO UTILIZADO POR FREIRE (2001)



FONTE: Adaptado de FREIRE (2001)

Nesse trabalho é verificado a relação entre esse ensaio com o de cisalhamento direto, observando os parâmetros de resistência, coesão e ângulo de atrito. Com os resultados encontrados, o autor concluiu que o novo ensaio "GES" é: um recurso eficiente no estudo de erodibilidade, simula satisfatoriamente a ação da chuva em campo, simples e de baixo custo. Demonstrou, também, a diminuição dos índices de vazios e permeabilidade, a partir da primeira hora de ensaio, devido ao impacto da gota e os parâmetros de coesão e ângulo de atrito, no ensaio de cisalhamento direto, não apresentaram relação direta com o "Grau de Erodibilidade do Solo".

2.4 ERODIBILIDADE

A propriedade do solo que retrata a susceptibilidade ou resistência de destacar e transportar as partículas do solo, devido à ação dos agentes erosivos, é denominado de erodibilidade.

NOGAMI e VILLIBOR (1995) propuseram o termo erodibilidade como a resistência intrínseca do solo ao destacamento das partículas, devido à ação dinâmica das gotas de chuva e do escoamento superficial.

AGENA e SAAD (1995) relataram que esse parâmetro é muito complexo que depende de várias propriedades físicas do solo, quando esse interage com o fator externo água. Nesse sentido, os fatores que influenciam numa relação direta no grau de erodibilidade do solo são: velocidade de infiltração, condutividade hidráulica, resistência à dispersão de partículas sólidas em função da energia cinética da gota de chuva e também, o transporte e arraste pelo escoamento superficial.

BERTONI e LOMBARDI NETO (1990) destacaram, entre as propriedades do solo que influenciam na erosão, àquelas que controlam a velocidade de infiltração da água: a permeabilidade e a capacidade de absorção e àquelas de ordem coesivas: que resistem a dispersão ao salpicamento, à abrasão e às forças de transporte da chuva e enxurrada.

ANGULO (1983) cita Benett (1926) como pioneiro nas pesquisas que verificaram as características do solos que influenciam na resistência à erosão. As características estudadas, em solos lateríticos de Cuba, foram: textura, estrutura, matéria orgânica e a composição química.

MIDDLETON (1930) propôs um índice de erodibilidade do solo baseando-se em análises do solo e observações de campo. O autor estabeleceu como Índice de Erosão (*IE*) a razão do Índice de Dispersão (*ID*) (razão dos teores de silte mais argila no estado natural e dispersos) pelo Índice de Percolação (razão entre a quantidade de colóides e a umidade equivalente).

Yoder (1936) citado por ANGULO (1983), salientou a importância da agregação do solo e verifica que, para solos argilosos fortemente agregados, as perdas de erosão ocorriam na forma de agregados estáveis em água.

Barnet e Rogers (1966), citado por BASTOS (1999), buscaram avaliar 34 propriedades físicas relacionadas a erodibilidade, através da equação de regressão de múltiplos fatores, dentre estas, destacam-se: profundidade da camada arada, umidade da camada superficial, capacidade de campo, teor de areia fina e média, razão de argila por silte mais argila, densidade e teor de matéria orgânica.

DERPSCH et al (1991) afirmaram que na erodibilidade estão refletidas as propriedades inerentes do solo. Quanto menor a permeabilidade, mais facilmente divisíveis os agregados e destacáveis as partículas do solo, maior é a erodibilidade. Solos arenosos ou ricos em silte, com pouca matéria orgânica e compactados (por selar a superfície dificultando a infiltração) são mais susceptíveis à erosão. A erodibilidade de um solo é um parâmetro importante a ser considerado nas avaliações de perda de solo devido à erosão.

FENDRICH et al (1991) afirmaram que, embora a erodibilidade de um tipo particular de solo, varie inversamente com o tamanho de suas partículas constituintes, solos arenosos finos erodem muito mais que as argilas duras.

SANTOS (1997) relatou que "os primeiros estudos referentes à quantificação dos processos erosivos possuíam bases extremamente empíricas".

Dentre os modelos de estimativas de perdas de solos, o mais conhecido é a Equação Universal de Perdas de Solo - (USLE), que exprime a ação dos principais fatores que influenciam na erosão hídrica.

WISCHMEIER e SMITH (1965) apresentaram essa equação, que foi desenvolvida através de dados obtidos em solos nos Estados Unidos da América - EUA desde 1930 e esta considera a perda anual de solos como dependente de seis fatores expressos pela equação abaixo:

$$A = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P \quad (03)$$

Onde:

- A = Perda de solo calculado por ano (t/ha.ano).
- R = Parâmetro que representa a força erosiva de um evento de chuva e é conhecida como erosividade, influenciada pelo tamanho das gotas e intensidade da chuva (MJ/ha.mm/ha).
- K = Parâmetro de erodibilidade do solo - é a intensidade de erosão pelo parâmetro de erosividade da chuva, para um determinado solo, mantido descoberto, com 9% de declive e uma rampa de 25 m de comprimento (t/ha)/(MJ/ha.mm/ha).
- L = Parâmetro de comprimento do declive da encosta - é a relação de perdas de solo entre um determinado comprimento de rampa, em condições de campo, com o comprimento de encosta de 25 m, para o mesmo solo e mantidas idênticas às demais condições.
- S = Parâmetro de declividade da encosta - é a relação das perdas de solo entre um determinado declive, em condições de campo e um declive de 9%, para o mesmo solo e mantidas iguais às demais condições.
- C = Parâmetro relativo ao fator uso e manejo do solo - é a relação entre as perdas de solo de um terreno cultivado, em condições de campo e as perdas correspondentes de um terreno mantido descoberto e nas mesmas condições em que o fator K for determinado. Considera-se também o grau de preparo do solo.

$P =$ Parâmetro relativo à prática conservacionista adotada, é a relação entre as perdas de solo de um terreno cultivado, quando se utiliza qualquer prática conservacionista (práticas de controle de erosão como: terraceamento, preparo do solo em nível, cultivo em faixas e outros) e as perdas que ocorrem no preparo do solo, no sentido do declive, mantidas idênticas as demais condições.

Os autores informaram que alguns solos em relação a outros, sob condições idênticas de chuva, declividade, cobertura e manejo, são mais susceptíveis à erosão. Isso devido as suas propriedades intrínsecas e esta diferença é que se chama erodibilidade do solo. Esclarecem, ainda, que as características que influenciam a erodibilidade pela água são: propensão de dispersão, desagregação, abrasão, transporte pelo escoamento superficial da água, capacidade de retenção de água, permeabilidade e infiltração.

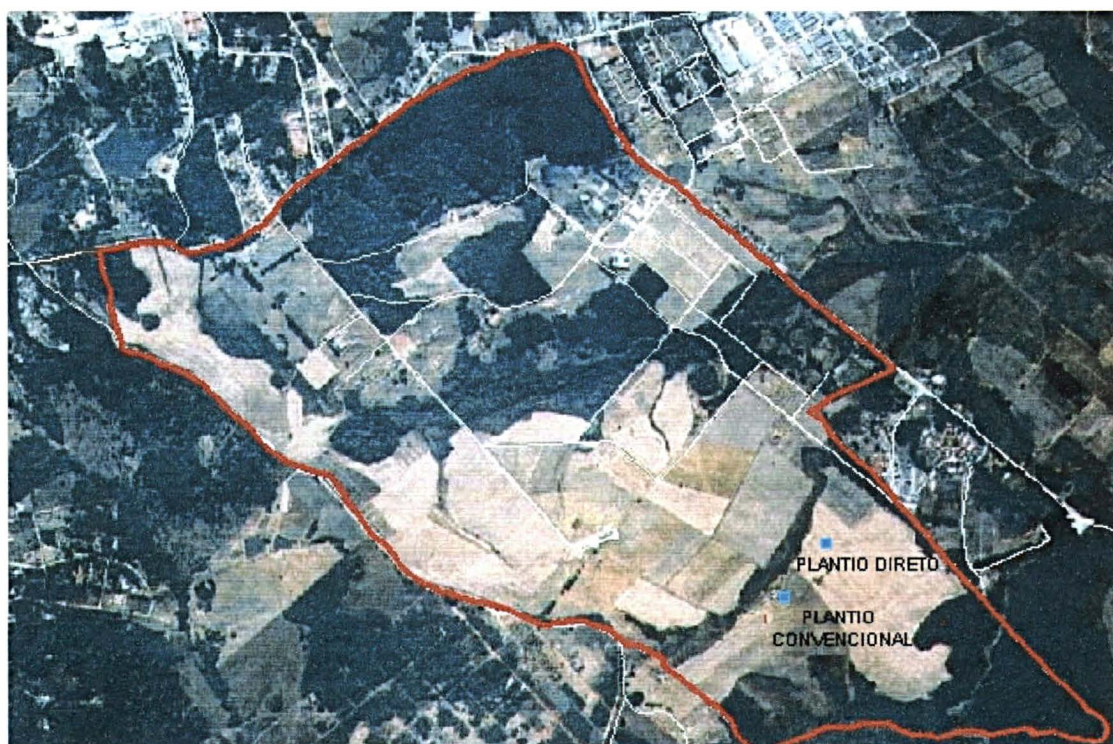
PAASWELL (1973) destacou a importância da estrutura do depósito argiloso (dispersa ou floculada) na resistência à erosão e no potencial erosivo do escoamento, devido à força de ligação entre as partículas e a capacidade de infiltração do solo. O autor destaca, ainda que, em relação a estrutura, a plasticidade é um grande indicador de erodibilidade, ou seja, quanto mais plástico o solo argiloso maior é a sua capacidade de resistência a erosão.

SILVA (1997) através de uma avaliação da correlação entre a determinação indireta (com base em atributos do solo) com o método direto (determinado no campo) da erodibilidade de latossolos brasileiros, concluiu que nenhum dos métodos testados mostrou-se recomendável para a estimativa da erodibilidade. Sendo assim, o autor determinou, em 19 latossolos das várias regiões do Brasil, 129 variáveis, destas, 37 apresentaram significância. As variáveis contidas na descrição morfológica dos perfis de solo, nas propriedades físicas e químicas foram de grande valia para o desenvolvimento dos modelos selecionados.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

As áreas com os sistemas de plantio direto e plantio convencional, nas quais foram coletadas as amostras para a realização dessa pesquisa, pertencem à Universidade Federal do Paraná (UFPR) - Centro de Estações Experimentais (CEEx) - Fazenda CANGUIRI, situada no Município de Pinhais, cuja coordenadas são 25° 17' latitude Sul e 44° 17' de longitude Oeste, com altitudes variando de 895 a 950 m e com área total de 444 ha, conforme figura 08.

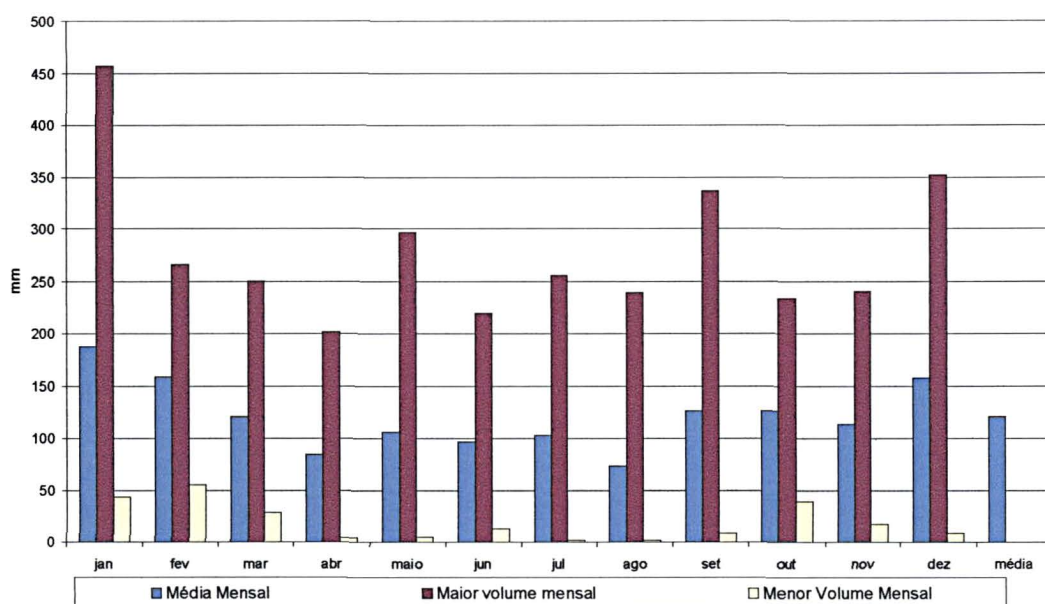
FIGURA 08 - FOTO AÉREA DO CENTRO DE ESTAÇÕES EXPERIMENTAIS - FAZENDA CANGUIRI



O clima desta região é classificado, segundo Köppen, como Cfb – Subtropical Úmido Mesotérmico, ou seja, com características climáticas sempre úmida, apresentando uma temperatura média anual de 16,5° C, sendo que as médias no mês mais quente e mais frio são de 20,1° C e 12,8° C, respectivamente. Esse tipo de clima está sujeito a precipitações regulares durante todos os meses do ano e às geadas severas (média de cinco geadas por ano). Segundo MAACK (1981), o mês mais chuvoso é janeiro, com 190,7 mm, e o mais seco é agosto, com

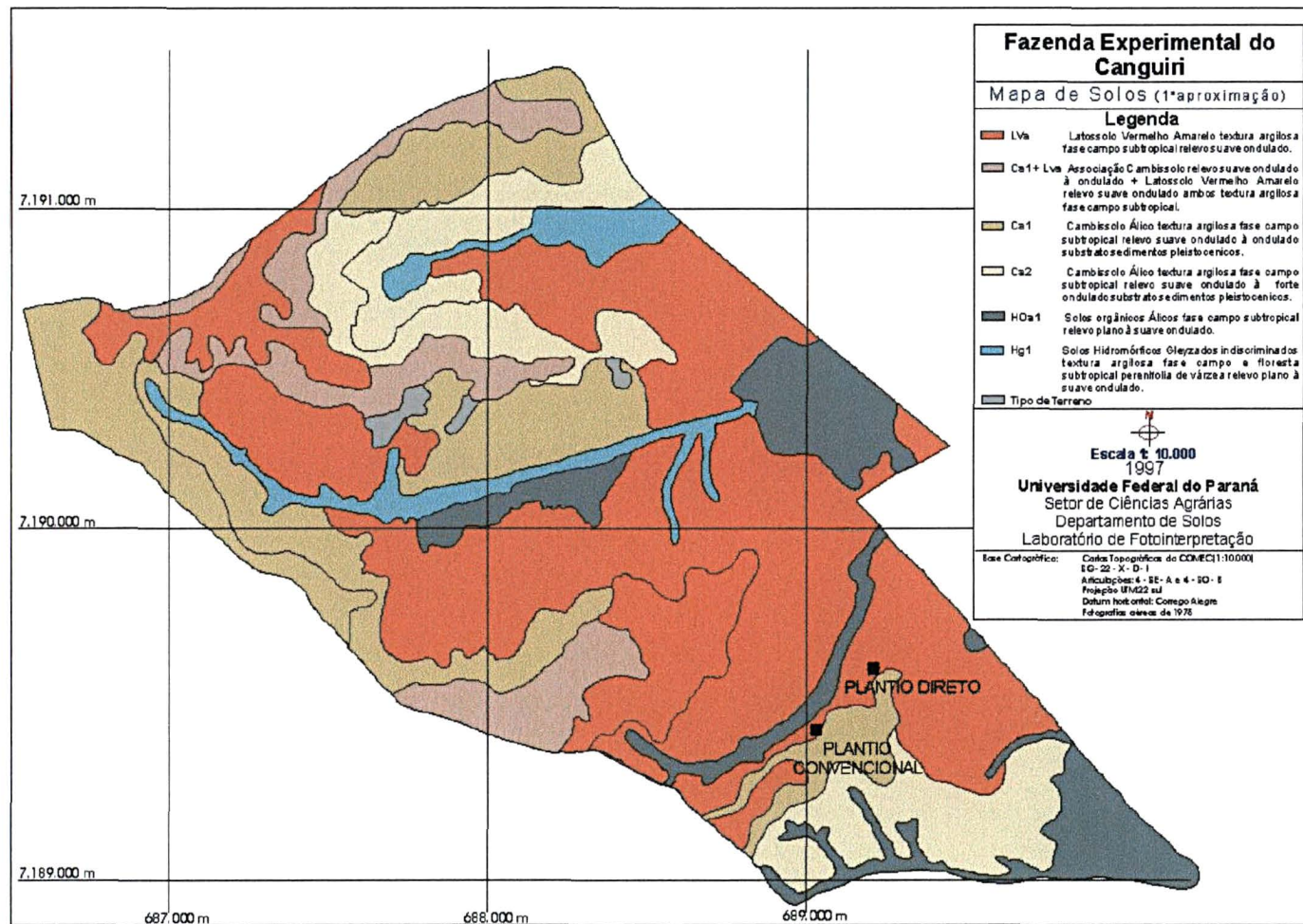
78,2 mm, correspondendo, então, a doze meses úmidos, totalizando 1.451,8 mm de precipitação, em média e, portanto, não apresentando estação seca, conforme gráfico 05.

GRÁFICO 05 - PRECIPITAÇÃO MÉDIA, MAIOR E MENOR VOLUME MENSAL



O solo encontrado na Fazenda Canguiri, é composto de 43,23% de Latossolo Vermelho Amarelo (Lva), 20,0% de Cambissolo Álico em relevo suave ondulado à ondulado (Ca 1), 8,46% associação de Cambissolo e Latossolo Vermelho Amarelo (Ca 1 + Lva), 13,49% de Cambissolo Álico em relevo ondulado à forte ondulado (Ca 2), 10,31% de solo Orgânico Álico (HOa 1) e 4,48% de Hidromórfico Gleyzado (Hg 1). A classificação do solo, nas áreas de plantio direto e plantio convencional em que foram determinados os pontos de coleta das amostras, é Latossolo Vermelho Amarelo textura argilosa fase campo subtropical relevo suave ondulado (Lva), conforme figura 09.

FIGURA 09 - MAPA DE SOLOS DA FAZENDA CANGUIRI - 1ª APROXIMAÇÃO



Regionalmente, a área da Fazenda Canguiri está situada no denominado Primeiro Planalto Paranaense, compreendido entre as Escarpas da Serra do Mar e as Escarpas Devonianas do Purunã. Esse Planalto divide-se em Planalto Sedimentar, Cristalino e Planícies Aluviais, sendo que essa área encontra-se dentro do Planalto Sedimentar que é formado por relevo suave, com vertentes de baixa declividade, amplas planícies aluviais e topos situados a altitudes em torno de 900 m, suportados, principalmente, por sedimentos do argilito da Formação Guabirotuba, constituído por esmectitas e arcóseos. O relevo dessa área é composto de quatro classes: 0 – 3 % representa 16,58 % da área total da estação, 3 – 8 % que representa 47,84 % do total, 8 – 20 % correspondendo a 33,42 % do total e 20 – 45 % que perfaz 2,16 % da área total.

Nas áreas de plantio direto e plantio convencional, localizadas no fundo da fazenda e que são denominadas de Agri 1 e Agri 2, respectivamente, o cultivo dos últimos três anos, ocorreu conforme o quadro 02.

QUADRO 02 - HISTÓRICO DE CULTIVO PLANTIO DIRETO E CONVENCIONAL NA FAZENDA CANGUIRI, NOS ÚLTIMOS TRÊS ANOS

PERÍODO	PLANTIO DIRETO	PLANTIO CONVENCIONAL
INVERNO 1998	AVEIA	ÁREA DE TREINAMENTO ⁽¹⁾
VERÃO 1998/1999	SOJA	ÁREA DE TREINAMENTO ⁽¹⁾
INVERNO 1999	POUSIO	ÁREA DE TREINAMENTO ⁽¹⁾
VERÃO 1999/2000	MILHO	ÁREA DE TREINAMENTO ⁽¹⁾
INVERNO 2000	POUSIO	POUSIO
VERÃO 2000/2001	MILHO	SOJA
INVERNO 2001	POUSIO	POUSIO
VERÃO 2001/2002	POUSIO	SOJA

⁽¹⁾ Área utilizada para treinamento da CASE - NEW HOLLAND.

3.1 MATERIAIS

3.1.1 Amostragem em Campo

Para a abertura das trincheiras nos pontos onde foram coletadas as amostras utilizou-se os seguintes materiais: pá cortadeira, enxada, martelo pedológico, faca, canivete, prancheta, planilha de anotação, etiquetas, sacos plásticos, caneta, trena e outros.

3.1.2 Solo

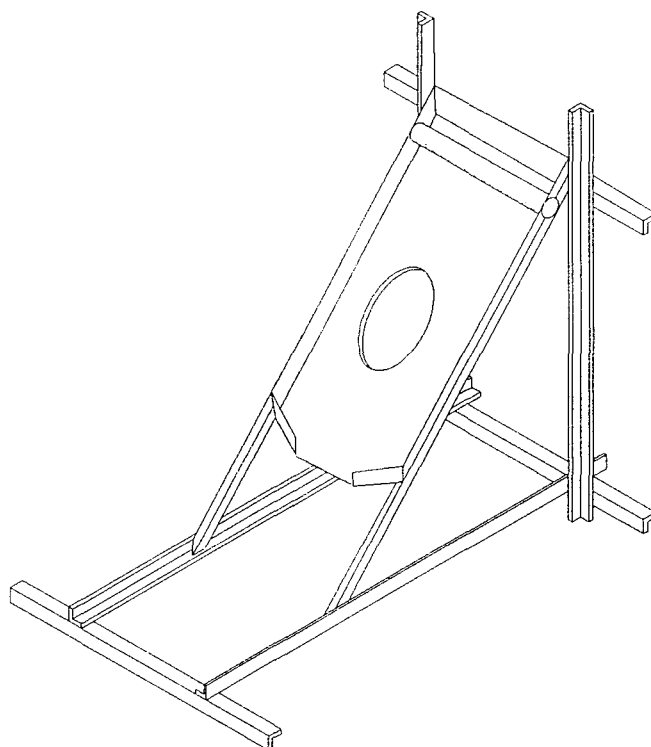
O solo utilizado foi coletado em duas distintas áreas de cultivo: plantio direto e plantio convencional. As coletas das amostras, em cada área de cultivo, foram feitas em duas camadas que compreende as seguintes profundidades: de 0,0 a 20 cm e de 20 a 40 cm, denominadas de camadas "A" e "B", respectivamente.

3.1.3 Equipamentos

3.1.3.1 Aparelho de Inderbitzen

Para a simulação do processo de erosão superficial foi utilizado o aparelho de Inderbitzen. Esse equipamento é constituído, basicamente, de uma estrutura metálica que suporta uma rampa de 34 cm de largura e 78 cm de comprimento, com furo de 10 cm de diâmetro a 40 cm do início do escoamento, para o encaixe dos anéis com as amostras indeformadas. A estrutura possui um sistema que permite variar a inclinação da rampa de 10° (11,11%) a 46° (51,11%), conforme figura 10.

FIGURA 10 - APARELHO DE INDERBITZEN



FONTE: Adaptado de FONSECA e FERREIRA (1981)

Para a *simulação do escoamento superficial*, sobre a rampa, utilizou-se um sistema de abastecimento com uma bomba submersa em um reservatório de cimento-amianto de 250 litros de capacidade e o controle da vazão foi através de registros.

3.1.3.2 Simulador de chuva

O simulador de chuva é composto por uma malha (10 x 10 cm) de fitas gotejantes com 20 cm de distância entre os pontos de quedas das gotas, no diâmetro de 1/2", conectadas a ramais de alimentação do tipo mangueira rija e conexões tipo "T" interno, com uma área de cobertura de 4 m², aproximadamente, conforme figura 11. Esse simulador foi colocado a uma altura de 1,50 m do aparelho de Inderbitzen, sendo abastecido pelo mesmo sistema de bomba submersa utilizado para o escoamento superficial.

FIGURA 11 - FOTOGRAFIA DO SIMULADOR DE CHUVA



A lâmina de "chuva" foi determinada, pela média entre duas repetições, através do volume da água (ml) coletado em um recipiente colocado no furo da rampa do aparelho de Inderbitzen, pelo período de 3 min.

3.1.4 Outros Equipamentos

3.1.4.1 Análises físicas

As análises físicas (granulometria, densidade específica aparente natural, densidade específica real das partículas do solo, argila dispersa em água e umidade do solo) foram realizadas no Laboratório de Física do Solo no Setor de Ciências Agrárias - UFPR e utilizados os seguintes materiais e equipamentos: bandejas, gral, pistilo, balança com precisão de 0,01 g, canecas plásticas, bastão de vidro, agitador elétrico com copo metálico, funil de vidro com 23 cm de diâmetro, peneiras com malha de 0,053 mm e 2 mm, copos de Becker de 500 ml, proveta de 100 e 1000 ml,

frasco pisseti, agitador manual para proveta, sifonador, pipeta volumétrica de 5 ml, cápsulas de vidro e de porcelana, densímetro, balão volumétrico, estufa regulável até 110° C e dessecador.

Os ensaios de limites de Atterberg (limite de liquidez e limite de plasticidade) foram realizados no Laboratório de Materiais e Estrutura - LAME no Centro Politécnico / UFPR e utilizados os seguintes materiais e equipamentos: balança com precisão de 0,01 g, espátulas, cápsula de porcelana, aparelho de Casagrande, cinzel, gabarito, frasco pisseti, placa de vidro, cápsulas de alumínio numeradas e com tampa, estufa regulável até 110° C e dessecador.

3.1.4.2 Análises mineralógicas

As análises mineralógicas foram realizadas no Laboratório de Mineralogia no Setor de Ciências Agrárias / UFPR e utilizados os seguintes materiais e equipamentos: difratômetro de raios-X, balança, agitador elétrico com copo metálico, centrífuga, tubos de centrífuga de 15 e 50 ml, copos de Becker de 500 ml, proveta de 100 e 1000 ml, bastão de vidro, frasco pisseti, sifonador, tubo de sucção adaptado a torneira, placa aquecedora com banho-maria, pipeta volumétrica de 5 ml, agitador elétrico de tubos de ensaio, espátula pequena e lâminas de vidro.

3.2 MÉTODOS

3.2.1 Coletas das Amostras

Após a determinação dos pontos de coletas das amostras nas áreas com sistema de cultivos diferentes: plantio direto e plantio convencional, passou-se para a limpeza desses locais, retirando-se uma camada superficial com 3 cm de profundidade, em uma área de 4 m², aproximadamente, que foi descartada.

Em seguida, procedeu-se a amostragem do solo, que foi acondicionado em sacos plásticos, devidamente etiquetados e encaminhados aos Laboratórios de

Mineralogia e Física do Solo no Setor de Ciências Agrárias / UFPR. As amostras de solo foram retiradas conforme a seqüência a seguir:

- a) duas amostras deformadas com, aproximadamente, 3 kg, para a caracterização morfológica e análises mineralógicas e físicas do solo;
- b) três anéis metálicos pequenos, com diâmetro de 3,65 cm e altura de 2,45 cm, para a obtenção da massa específica aparente, de acordo com EMBRAPA (1997);
- c) seis cubos de lado igual a 6 cm para o ensaio de desagregação;
- d) trinta amostras de solos em anéis com 10 cm de diâmetro, conforme figura 12, para a utilização no ensaio com o aparelho de Inderbitzen.

FIGURA 12 - FOTOGRAFIA DA RETIRADA DAS AMOSTRAS DE SOLO EM ANÉIS DE PVC



O processo de cravação foi através de golpes, sobre uma superfície de madeira colocada na parte superior dos anéis.

Depois de retiradas, todas as amostras necessárias para a camada "A", passou-se para a camada "B". O procedimento, para a retirada das amostras da

camada "B", foi o mesmo que a camada anterior. A quantidade e o tipo de amostras retiradas foram reduzidas para:

- a) duas amostras deformadas com, aproximadamente, 3 kg, para as análises morfológicas, mineralógicas e físicas;
- b) três anéis metálicos pequenos, com diâmetro de 3,65 cm e altura de 2,45 cm, para a obtenção da massa específica aparente, de acordo com EMBRAPA (1997).

3.2.2 Procedimentos

3.2.2.1 Análises morfológicas

A descrição das camadas "A" e "B" foram realizadas de acordo com a metodologia de LEMOS e SANTOS (1984) e as identificações das cores foram obtidas em amostras secas e úmidas, pertencentes a essas camadas, através da carta de cores de MUNSELL (1998).

3.2.2.2 Análises físicas

As amostras deformadas, depois de identificadas, foram colocadas em bandejas metálicas espalhadas e destorroadas; em seguida, foram levadas à estufa com 65° C de temperatura, durante cinco dias. Após secagem, as amostras foram moídas e peneiradas na malha de 2 mm (terra fina seca em estufa – TFSE), sem quebrar os cascalhos e calhaus. Depois de preparadas, as amostras seguiram para a execução dos seguintes ensaios físicos e determinações:

- a) determinação de cascalho e calhaus - Método Gravimétrico adaptado de EMBRAPA (1997), apêndice 01;
- b) análise granulométrica - Método do Densímetro adaptado de EMBRAPA (1997), apêndice 02;
- c) coeficientes representativos da granulometria, proposto por Allen Hazen, citado por CAPUTO (1988):

- Coeficiente de Uniformidade (C_u): $C_u = D_{60} / D_{10}$ (04)

- Coeficiente de Curvatura (C_c): $C_c = (D_{30})^2 / (D_{10} \times D_{60})$ (05)

Sendo que:

- D_{10} denominado, também, como diâmetro efetivo, corresponde à percentagem de 10% da curva granulométrica, ou seja o diâmetro de uma partícula de solo onde 10% do peso total, desse solo, tem diâmetro menor;

- D_{30} e D_{60} correspondem, respectivamente, às percentagens de 30 e 60, analogamente.

d) argila dispersa em água - Método do Densímetro adaptado de EMBRAPA (1997), apêndice 05;

e) Razão de Dispersão (R_D , %), segundo MIDDLETON (1930):

$$- R_D = 100 - 100 \cdot \left[\frac{(\% \text{ silte} + \% \text{ argila}) - \% \text{ argila dispersa em água}}{(\% \text{ silte} + \% \text{ argila})} \right] \quad (06)$$

f) Grau de Flocculação (G_F , %):

$$- G_F = 100 - \frac{\% \text{ argila} - \% \text{ argila dispersa em água}}{\% \text{ argila}} \quad (07)$$

g) Massa Específica Aparente Natural (ρ_n , g/cm³) e Umidade Natural do Solo (w , %) - Método do Anel Volumétrico adaptado de EMBRAPA (1997), apêndice 03;

h) Massa Específica Aparente Seca (ρ_s , g/cm³), determinado pela equação:

$$\rho_s = \rho_n / (1 + w) \quad (08)$$

i) Massa Específica do Solo Saturado (ρ_{sat} , g/cm³), determinado pela equação:

$$\rho_{sat} = e + \rho_p / (1 + e) \quad (09)$$

j) Massa Específica Real das Partículas do Solo (ρ_p , g/cm³) - Método do Balão Volumétrico adaptado de EMBRAPA (1997), apêndice 04.

l) Índice de vazios (e), determinado a partir da equação:

$$e = (\rho_p / \rho_s) - 1 \quad (10)$$

m) Porosidade Total (P_T), determinado a partir da equação:

$$P_T = (\rho_p - \rho_s) \times 100 / \rho_p \quad (11)$$

n) Grau de Saturação (G_S , %): $G_S = (\rho_p \times w) / e \quad (12)$

o) Grau de Aeração (G_A , %): $G_A = 100 - G_S \quad (13)$

p) Determinação dos Limites de Atterberg:

- Limite de Liquidez (L_L , %) - Adaptado da NBR - 6459/84, apêndice 06.

- Limite de Plasticidade (L_P , %) e Índice de Plasticidade (I_P , %) - Adaptado da NBR - 7180/84, apêndice 07.

q) Índice de Consistência (I_C): $I_C = (L_L - w) / I_P \quad (14)$

r) Índice da Atividade (I_A), determinado segundo a proposta de SKEMPTON e BORGAN (1994):

$$I_A = I_P / \% \text{ partículas com diâmetro } < 2 \mu\text{m} \quad (15)$$

3.2.2.3 Análises mineralógicas

Amostras da fração argila foram montadas em lâminas orientadas para serem analisadas pelo aparelho de Difratometria de Raios-X. O difratômetro, equipado com tubo de cobre, filtro de Níquel e utilizando radiação $\text{CuK}\alpha$, foi operado a 20 mA e 40 kV. Os difratogramas foram obtidos em goniômetro vertical Philips, com velocidade de $1^\circ 2\theta/\text{min}$ e com amplitude de 2 a $28 2\theta$. As identificações dos minerais se deram através das interpretações e cálculos dos espaçamentos interplanares desses difratogramas obtidos, segundo WITTING e ALLARDICE (1986). A sequência de trabalho foi a seguinte:

- a) obtenção de argila foi através do sifonamento de 10 cm de profundidade a partir da superfície de suspensão do solo contida no cilindro, utilizado para a análise granulométrica;
- b) remoção da matéria orgânica e ferro livre, segundo EMBRAPA (1997);
- d) saturação da argila com Cloreto de Potássio e Cloreto de Magnésio;

e) confecções de cinco lâminas de vidro orientadas:

- uma saturada com Cloreto de Magnésio a temperatura ambiente;
- uma saturada com Cloreto de Magnésio glicolada;
- uma saturada com Cloreto de Potássio a temperatura ambiente;
- uma saturada com Cloreto de Potássio a temperatura de 350° C;
- uma saturada com Cloreto de Potássio a temperatura de 550° C.

e) obtenção dos difratogramas;

f) cálculo dos espaçamentos interplanares e interpretação dos resultados.

3.2.2.4 Análises de erosão

Para o ensaio de erosão utilizou-se o aparelho de Inderbitzen, conforme figura 13 e foram fixados os seguintes parâmetros: declividade de rampa de 10° e o tempo de ensaio de 20 min, segundo o estabelecido por FÁCIO (1991).

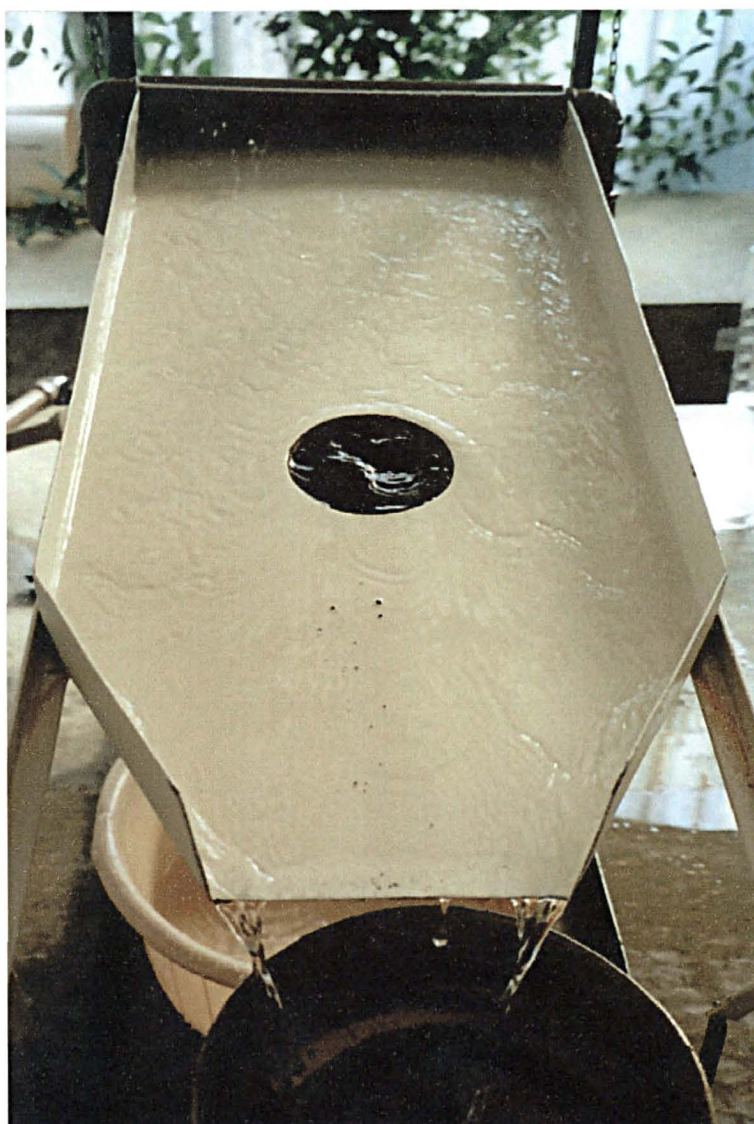
Os ensaios foram feitos com 05 (cinco) repetições para cada camada e foram consideradas as duas situações de umidade: a natural e a seca ao ar por 24h, totalizando 40 anéis analisados, conforme o quadro 03.

QUADRO 03 - QUANTIDADES E TIPOS DE ENSAIOS REALIZADOS

ÁREA DE CULTIVO	PLANTIO DIRETO		PLANTIO CONVENCIONAL	
CAMADA	A		A	
UMIDADE	N	R	N	R
E. S.	05	05	05	05
E.S. + S.C.	05	05	05	05
TOTAL	20		20	

ONDE: E.S. – Escoamento Superficial, S.C. – Simulador de Chuva, N – Natural e R – Ressecamento (secagem ao ar por 24 h).

FIGURA 13 - FOTOGRAFIA DO ENSAIO COM O APARELHO DE INDERBITZEN



Os procedimentos utilizados para os ensaios foram:

- a) desbaste das superfícies do anel, de maneira que não provocasse a desagregação e, também, que não se deixasse material solto sobre a mesma;
- b) pesagem da amostra desbastada mais o anel sobre uma placa de Petry e a tampa;
- c) colocação do anel perfeitamente ajustado à superfície da rampa e a verificação da vedação;
- d) colocação do papel filme sobre a rampa;
- e) preparo de duas peneiras (# 0,053 mm, n.º 270), para a coleta do material erodido;

- f) funcionamento do sistema de bombeamento de água;
- g) espera por, no mínimo, 1 min para atingir a vazão constante, no caso de escoamento superficial e 2 min para atingir a vazão e intensidade de chuva constante para o simulador de chuva;
- h) cálculo da vazão do escoamento superficial, utilizando a média entre duas repetições, através da coleta do volume de água que escoar na rampa no tempo de 1 min. No caso com simulador de chuva, coloca-se uma cobertura sobre a bacia para a coleta do volume de água apenas do que cai na rampa;
- i) início da cronometragem e a retirada do papel filme, simultaneamente;
- j) nos tempos de 1, 5, 10, 15 e 20 min, retirada e substituição da peneira;
- l) ao chegar nos 20 min de ensaio, retirada da última peneira e a colocação de um recipiente no furo para a determinação da intensidade de chuva, durante 3 min, por duas repetições no caso com simulador de chuva;
- m) desligamento do sistema de bombeamento de água;
- n) colocação dos materiais coletados nas peneiras nas placas de Petry, com pesos conhecidos e devidamente identificadas;
- o) colocação do material erodido à estufa por 24 h, para a secagem e posteriormente a pesagem;
- p) colocação de um aparato para coletar o material que cair do anel quando esse for retirado da rampa, cuidadosamente;
- q) colocação do material que cair do anel mais o material coletado na peneira, após os 20 min de ensaio, na placa de Petry, com peso conhecido e a pesagem desse material depois de secado em estufa por 24 h;
- r) pesagem de todo o material úmido remanescente do anel mais: o anel, placa de Petry e tampa;
- s) pesagem desse material, após a secagem por 24 h;
- t) apresentação dos resultados sob forma de gráficos de perda de solo

(g/cm²) e velocidade de erosão (ve) - (g/cm²/hora) pelo tempo de ensaio (min), para facilitar as análises comparativas dos valores encontrados;

3.2.2.5 Análises de desagregação

Para o ensaio de desagregação foram utilizados as amostras de solo indeformadas, cortadas em forma de cubo com 6 cm de aresta, frente à imersão em água destilada, conforme o estabelecido por SANTOS (1997).

Os ensaios foram feitos com 03 (três) repetições para cada camada e foram consideradas as duas situações de umidade: a natural e a seca ao ar por 36 h. Após a cuidadosa retirada e desbastamento dos moldes, as amostras foram colocadas sobre uma bandeja, dispostas sobre uma superfície porosa, com nível d'água na altura da base e submetidas a um processo de lenta submersão por um período de 30 min. Em seguida a altura da água foi aumentada sucessivamente, por períodos de 15 min, para 1/3 e 2/3 da altura da amostra, até a submersão total das amostras por 24 h.

Foi registrado o comportamento das amostras, em cada uma destas etapas, sendo descritas as características, as intensidades e as velocidades dos fenômenos atuantes, como: ascensão capilar, expansão, desagregação, fraturamentos, rupturas, dispersão e outros.

A classificação dos tipos de reação à inundação foi baseada em Holmgren e Flanagan (1997), que foram citados por SANTOS (1997):

- a) nulo: quando a forma e o tamanho da amostra permanecem iguais ao original;
- b) abatimento (slumping): quando a amostra se desintegra, devido a hidratação e desaeração que atuam gerando pressões positivas que desagregam o solo, formando uma pilha de material desestruturados;
- c) fraturamento: quando a amostra se quebra em fragmentos, por causa da expansão osmótica (a água tende a mover-se para dentro da amostra de maneira a diminuir a concentração dos íons, quando esse é

maior dentro da fase sólida do que da solução ambiente), porém, mantém a forma original das faces externas;

- d) dispersão: quando as paredes da amostra se tornam difusas, devido o surgimento de uma "nuvem" coloidal que cresce a medida que se dissolve. O processo de dispersão ocorre quando as pressões de expansão são grandes o suficiente para causar a separação entre as partículas, segundo os autores.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 PROPRIEDADES MORFOLÓGICAS

Os dados, referentes às características morfológicas do solo, são obtidos apenas do horizonte superficial "A", na qual foi subdividido em camadas de 0 a 20 cm e de 20 a 40 cm, de profundidade, chamadas de "A" e "B", respectivamente, dos sistemas de cultivos: plantio convencional e plantio direto, conforme o quadro 04.

QUADRO 04 - CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS

CAMADA	PROF. (cm)	CARACTERÍSTICAS
PC - A	0 - 20	Bruno-avermelhado escuro (5YR 2,5/2 - úmido), bruno-acinzentado muito escuro (10YR 3/2 - seco); argiloso; blocos subangulares, pequena, moderada; duro, friável, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso.
PC - B	20 - 40	Bruno muito escuro (7,5YR 2,5/2 - úmido), bruno-acinzentado muito escuro (10YR 3/2 - seco); argiloso; blocos subangulares, média, moderada; duro, friável, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso.
PD - A	0 - 20	Preto (10YR 2/1 - úmido), bruno-acinzentado escuro (10YR 4/2 - seco); argiloso; blocos subangulares, pequena, moderada; ligeiramente duro, friável, plástico e ligeiramente pegajoso.
PD - B	20 - 40	Bruno muito escuro (10YR 2/2 - úmido), bruno-acinzentado escuro (10YR 3/2 - seco); argiloso; blocos subangulares, pequena, moderada; ligeiramente duro, friável, plástico e ligeiramente pegajoso.

ONDE: PC - A e PC - B: Plantio Convencional - camadas "A" e "B"; PD - A e PD - B: Plantio Direto - camadas "A" e "B"

Observa-se que a estrutura é em forma de blocos subangulares e a consistência apresenta características ligeiramente duro a duro, quando seco,

friável, quando úmido e plástico a ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso, quando molhado. Segundo LIMA e LIMA (2000), os Latossolos caulíníticos tendem apresentar estrutura em blocos, o que os torna mais compactos e menos permeáveis e as argilas 1:1 (caulinita) são menos plásticos e pegajosos do que as argilas 2:1 (vermiculita e esmectita).

4.2 PROPRIEDADES QUÍMICAS

As características químicas foram fornecidas pelo Laboratório de Fertilidade do Solo, acrescentando os seguintes cálculos:

$$a) \text{ matéria orgânica (MO, \%)} - \text{MO} = 1,72 \times \% \text{ de carbono}; \quad (16)$$

$$b) \text{ atividade da argila (A}_A\text{)} - A_A = (100 \times \text{CTC}) / \% \text{ argila}. \quad (17)$$

$$c) \Delta \text{ pH} = (\text{pH em KCl}) - (\text{pH em água}) \quad (18)$$

Se $\Delta \text{ pH} < 0 \Rightarrow$ indica que predominam cargas negativas no solo

Se $\Delta \text{ pH} > 0 \Rightarrow$ indica que predominam cargas positivas no solo

As camadas "A" e "B", de ambos os sistemas de cultivos, apresentam fertilidade média a alta, Alumínio (Al^{3+}) nulo, Capacidade de Troca Catiônica (CTC) do solo de 17,77 a 20,31%, potássio (K^+) de 0,07 a 0,21 $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$, fósforo (P) de 1,5 a 17,10 mg/dm^3 , carbono (C) de 2,69 a 3,51% e Saturação de Bases (V) de 62,30 a 73,41%, conforme tabela 02.

TABELA 02 - PROPRIEDADES QUÍMICAS

CAMADA	pH		Δ pH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	H ⁺	Al ³⁺	S ⁽¹⁾	CTC ⁽²⁾	P mg/dm³	V ⁽³⁾ %	C %	MO %	A _A cmolc/kg
	KCl	H ₂ O		cmolc/dm³											
PC - A	5,6	5,8	-0,2	7,7	4,8	0,08	5,8	0,0	12,58	18,38	1,50	68,44	3,59	6,17	39,96
PC - B	5,4	5,6	-0,2	6,4	4,6	0,07	6,7	0,0	11,07	17,77	1,50	62,30	2,93	5,04	32,91
PD - A	5,6	5,9	-0,3	8,3	6,4	0,21	5,4	0,0	14,91	20,31	17,10	73,41	3,11	5,35	39,06
PD - B	5,6	5,9	-0,3	7,8	6,6	0,07	5,4	0,0	14,47	19,87	1,6	72,82	2,69	4,63	38,21

⁽¹⁾ $\text{S} = \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{K}^+$; ⁽²⁾ $\text{CTC} = \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{K}^+ + \text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$; ⁽³⁾ $\text{V} = (\text{S} \times 100) / \text{CTC}$

Os valores encontrados no sistema do plantio convencional indicam que os teores de cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}) e potássio (K^+) decrescem, o hidrogênio (H^+) cresce e o fósforo (P^+) se mantém, com a profundidade. No plantio direto os valores encontrados de Ca^{2+} , K^+ e P^+ decrescem, Mg^{2+} cresce e o H^+ permanece o mesmo com a profundidade.

De acordo com CATANI et al (1955) todos os valores de Ca^{2+} , Mg^{2+} e H^+ + Al^{3+} são considerados altos, pois apresentam valores acima de 5, 1 e 5, respectivamente, para ambos os sistemas de cultivos. O teor de K^+ na camada "A" do plantio direto é considerado médio, pois se encontra entre os valores de 0,12 e 0,30, mas nas demais camadas são considerados baixos, por serem inferiores a 0,12.

Segundo KOFFLER e DONZELI (1987) os valores de Ca^{2+} + Mg^{2+} são muito altos, por consequência, os valores da Soma das Bases (S) e Capacidade de Troca Catiônica (CTC) se enquadram na classe alta e ainda, conferem alta Saturação de Bases (V), o que levou a considerar como mesoeutrófico ($50 < V < 75$), solos férteis em todas as camadas estudadas, conforme gráficos 06, 07, 08 e 09.

GRÁFICO 06 - PROPORÇÕES DE BASES NO PLANTIO CONVENCIONAL - CAMADA "A"

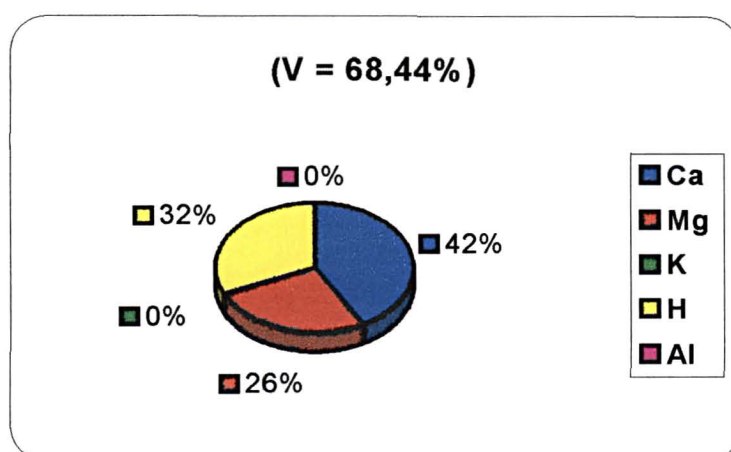


GRÁFICO 07 - PROPORÇÕES DE BASES NO PLANTIO CONVENCIONAL - CAMADA "B"

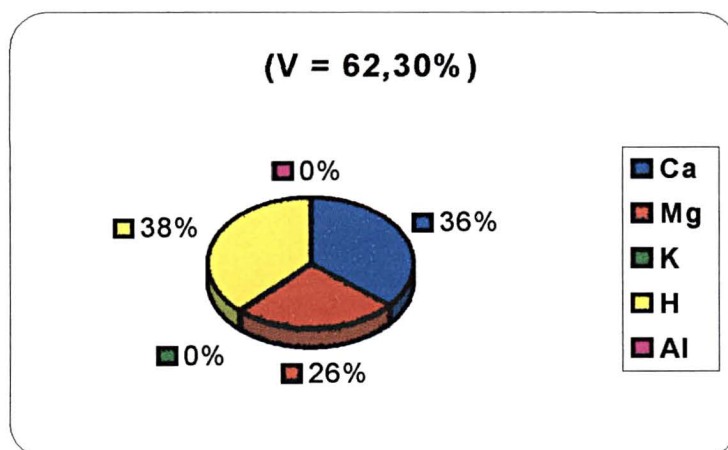


GRÁFICO 08 - PROPORÇÕES DE BASES NO PLANTIO DIRETO - CAMADA "A"

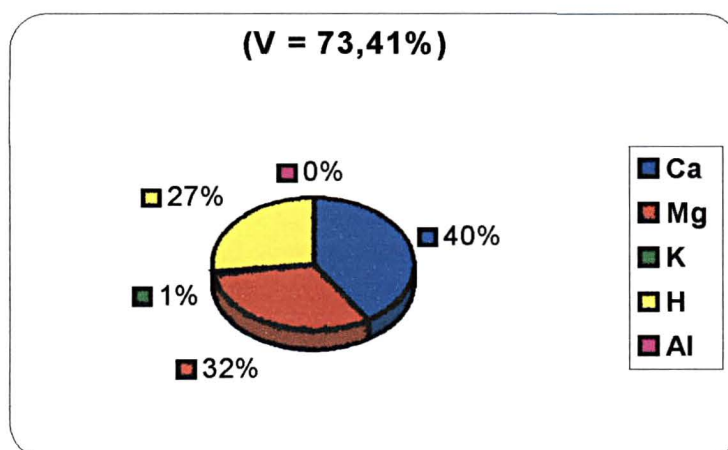
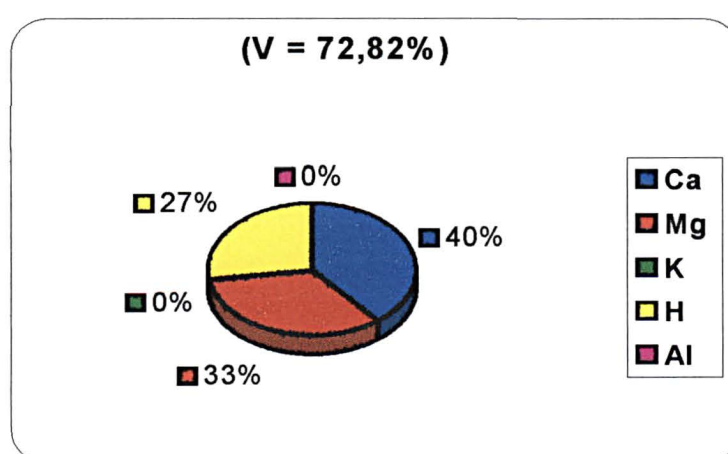


GRÁFICO 09 - PROPORÇÕES DE BASES NO PLANTIO DIRETO - CAMADA "B"



O valor de fósforo, na camada "A" do plantio direto, apresenta-se alto ($16 < P < 34$), enquanto que nas demais camadas apresentam-se muito baixo ($P < 5$), de acordo com KOFFLER e DONZELLI (1987).

Os teores de carbono (C%) diminuem com a profundidade, o que é coerente, pois é na superfície que o teor de matéria orgânica é maior. Verifica-se, ainda, que no sistema de plantio convencional os valores de C% e MO% são maiores do que no plantio direto. Conforme TOMÉ (1997), as quantidades de carbono e, conseqüentemente, matéria orgânica são classificadas como altas para ambos os sistemas de cultivos.

Os valores de pH indicam acidez média por estarem entre a faixa de $5 < \text{pH} < 5,9$ e o ΔpH ($\text{pH KCl} - \text{pH H}_2\text{O}$), em todas as camadas, apresentam valores negativos o que corresponde a predominância de cargas elétricas negativas na CTC.

Os valores da atividade da argila (A_A) decrescem com a profundidade para ambos os dois sistemas de plantio e são consideradas altas por apresentarem valores acima de $27 \text{ cmol}_c/\text{kg}$ de argila, segundo LIMA e LIMA (2000).

4.3 PROPRIEDADES FÍSICAS

4.3.1 Composição Granulométrica

As propriedades físicas referentes à composição granulométrica, argila dispersa em água, razão de dispersão, grau de flocculação, relação silte/argila, coeficiente de uniformidade e coeficiente de curvatura apresentam valores conforme tabela 03.

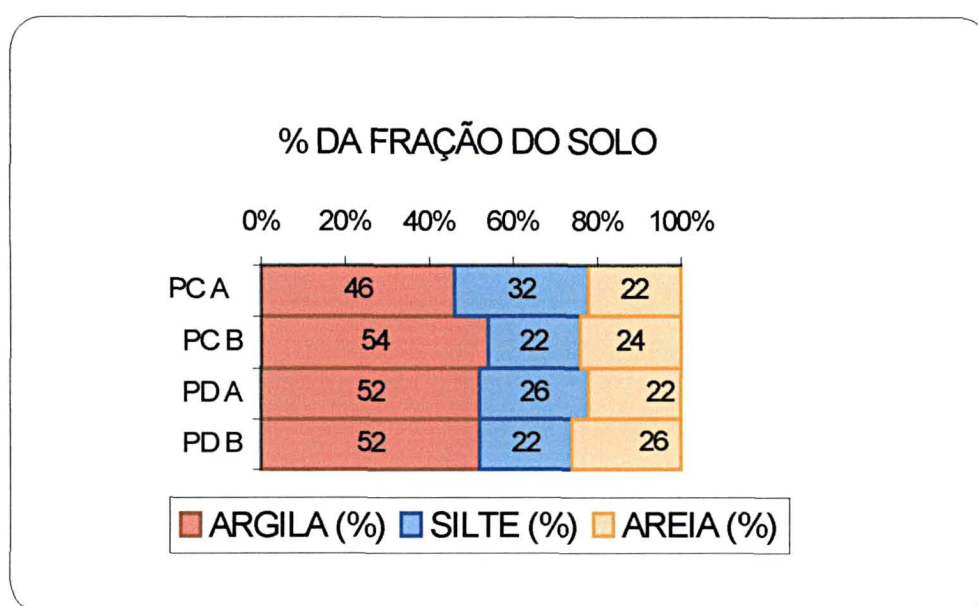
TABELA 03 - COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA

CAMADA		FRAÇÃO DA AMOSTRA TOTAL %			COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA DA TERRA FINA % (DISPERSÃO COM NaOH)				ARGILA DISPERSA EM ÁGUA (%)	R _D %	G _F %	RELAÇÃO S/A	C _u	C _c
CAMADA	PROF. cm	CALHAUS > 20mm	CASCALHO 20-2 mm	TERRA FINA < 2 mm	AREIA GROSSA 2 - 0,20mm	AREIA FINA 0,20 - 0,05mm	SILTE 0,05 - 0,002mm	ARGILA < 0,002mm						
PC - A	00-20	0	0	0	16	6	32	46	18	23	61	0,70	4,00	0,25
PC - B	20-40	0	0	0	16	8	22	54	22	29	59	0,41	2,35	0,43
PD - A	00-20	0	0	0	12	10	26	52	20	26	62	0,50	2,50	0,40
PD - B	20-40	0	0	0	12	14	22	52	24	32	54	0,42	3,50	0,29

ONDE: R_D: Razão de Dispersão; G_F: Grau de Floculação; S/A: Silte/Argila; C_u: Coeficiente de Uniformidade; C_c: Coeficiente de Curvatura.

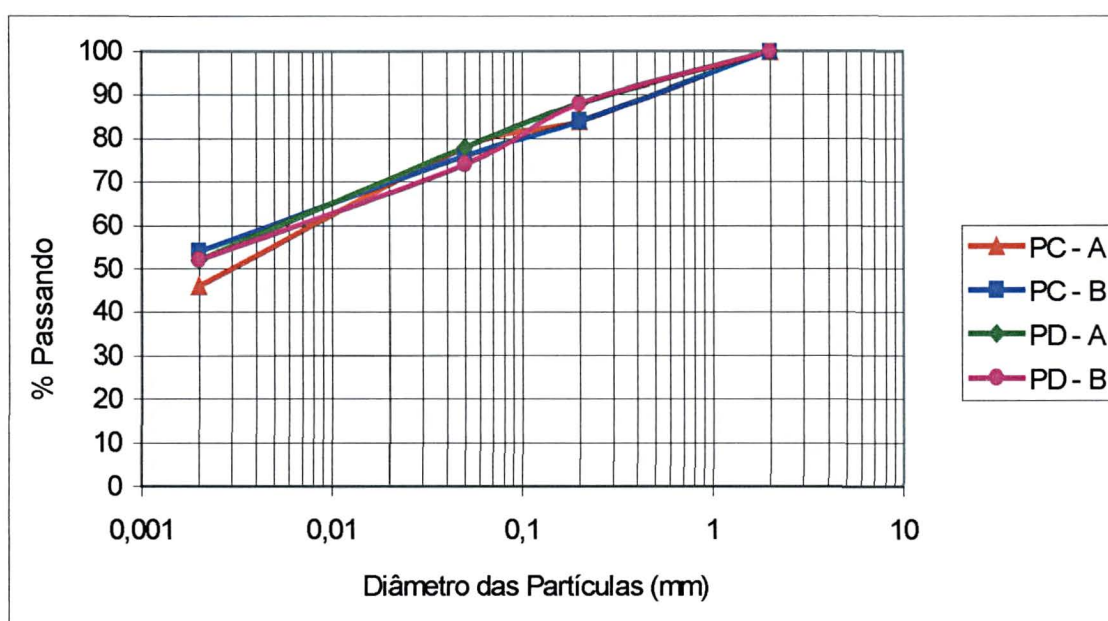
Com a profundidade, observa-se que os teores de argila e areia aumentam em torno de 17% e 9% e o de silte diminui em 31%, para o plantio convencional e no plantio direto o valor de argila se mantém, o de silte diminui em 15% e o de areia aumenta em 18%, aproximadamente, conforme gráfico 10.

GRÁFICO 10 - DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA



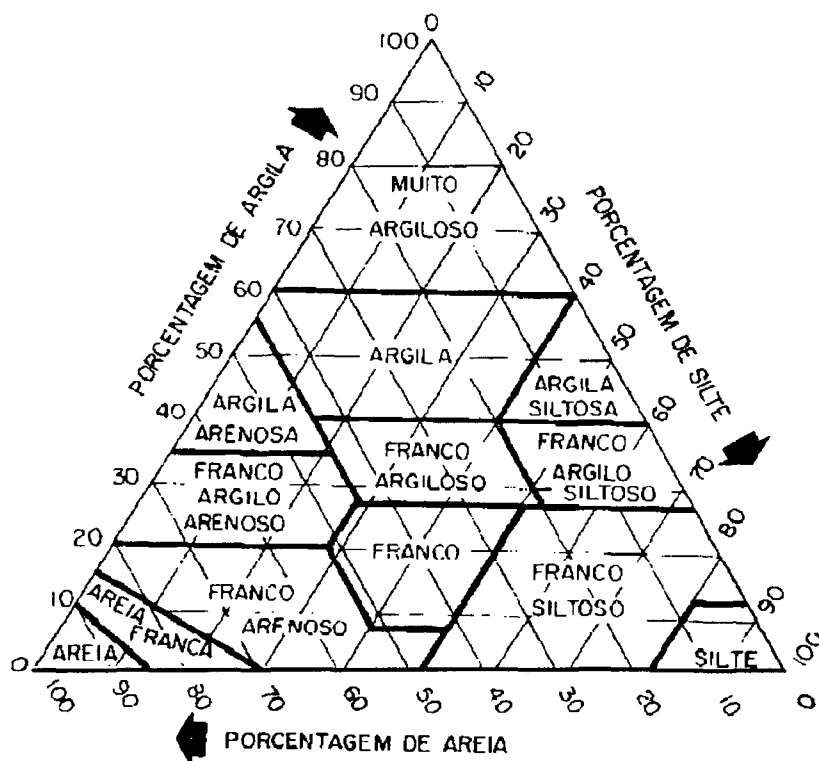
Todas as camadas apresentam areia fina com teores abaixo de 50%, porcentagem de argila maior que 15%, diâmetro das partículas de solo correspondente a 50% do peso total desse solo (D_{50}) são inferiores a 0,06 mm, conforme o gráfico 11 e os coeficientes de uniformidade (C_u) são menores que 5, indicando, portanto, solos facilmente erodíveis, segundo os critérios de avaliação de erodibilidade estabelecidos por HÉNENSAL (1987).

GRÁFICO 11 - CURVA GRANULOMÉTRICA



Os resultados revelam que todas as camadas são classificadas, segundo a textura, como argilosas, conforme figura 14.

FIGURA 14 - DIAGRAMA TEXTURAL



FONTE: Adaptado de LEMOS e SANTOS (1984)

As porcentagens de argila dispersa em água crescem em 22% e 20% e a razão de dispersão também cresce em 26% e 23%, respectivamente, em profundidade. De acordo com o critério de erodibilidade estabelecido por MIDDLETON (1930), em relação a razão de dispersão, todas as camadas apresentam solos erodíveis por possuírem valores maiores que 15%.

As porcentagens do grau de floculação diminuem em 3% e 13%, respectivamente, em profundidade, sendo que apresentam valores acima de 50% para todas as camadas, característica benéfica do ponto de vista agrícola e de controle a erosão por propiciar a formação de agregados estáveis ou grânulos, que possibilitam a diminuição da impermeabilidade do solo à penetração das águas e o crescimento vegetal, segundo BUCKMAN (1979).

Os valores da relação silte/argila decrescem com a profundidade, onde se observa que para a camada "A" do plantio convencional é encontrado um valor de 0,7, para as demais camadas, os valores são inferiores a 0,6.

Os coeficientes de uniformidade apresentam valores abaixo de 5 e os coeficientes de curvatura abaixo de 1, indicando que todas as camadas possuem granulometria muito uniforme e mal graduada, segundo a proposta de Allen Hazen, citado por CAPUTO (1988).

4.3.2 Índices Físicos

Os resultados dos índices físicos, tais como: a massa específica aparente natural, a massa específica real das partículas do solo e a umidade natural são obtidos através da média de três repetições de ensaios, conforme tabela 04.

TABELA 04 - RESULTADOS DOS ÍNDICES FÍSICOS

CAMADA	ρ_n (g/cm ³)	ρ_s (g/cm ³)	ρ_{sat} (g/cm ³)	ρ_p (g/cm ³)	w (%)	e	P _T (%)	G _s (%)	G _A (%)
PC - A	1,45	1,09	1,65	2,48	32,5	1,28	56,0	63,2	36,8
PC - B	1,47	1,07	1,64	2,49	38,2	1,33	57,0	71,7	28,3
PD - A	1,57	1,13	1,67	2,47	38,0	1,19	54,3	79,2	20,8
PD - B	1,54	1,10	1,66	2,48	40,3	1,25	55,6	79,7	20,3

ONDE: ρ_n : Massa Específica Aparente Natural; ρ_s : Massa Específica Aparente Seca; ρ_{sat} : Massa Específica do Solo Saturado; ρ_p : Massa Específica Real das Partículas do Solo; w: Umidade Natural do Solo; e: Índice de Vazios; P_T: Porosidade Total; G_s: Grau de Saturação; G_A: Grau de Aeração.

A massa específica aparente natural cresce em 1,4% para o plantio convencional e decresce em 1,9% para o plantio direto, com relação a profundidade. Verifica-se valores menores para a massa específica aparente seca nas camadas com maior teor de matéria orgânica, ficando esses valores entre 1,07 a 1,13. De acordo com KIEHL (1979) os limites médios das massas específicas aparentes secas, para solos argilosos, são entre 1,00 a 1,25 g/cm³.

Os valores das massas específicas reais demonstram-se próximos, com diferença de no máximo $0,01 \text{ g/cm}^3$ e os valores obtidos para o índice de vazios ficam entre 1,19 a 1,33.

As percentagens da porosidade total, ficam entre 54,3% a 57,0%, que se encontram na classificação de média a alta, segundo Oliveira e Paula (1984) citado por LIMA e LIMA (2000).

O menor valor para o grau de saturação é de 63,2 na camada "A" do plantio convencional, para as demais camadas são acima de 70%, conseqüentemente o inverso ocorre com o grau de aeração, que apresenta valores entre 20,3 a 36,8%. Segundo Baver (1968), citado por KIEHL (1979) a aeração ótima do solo situa-se entre 20 a 30%, correspondendo ao diâmetro médio dos agregados de 2 a 3 mm, o que propicia o desenvolvimento de raízes.

4.3.3 Limites de Atterberg

Os valores encontrados para os limites de plasticidade e liquidez e os índices de plasticidade, consistência e atividade se encontram conforme tabela 05.

TABELA 05 - RESULTADOS DOS LIMITES DE ATTERBERG

CAMADA	L_L (%)	L_P (%)	I_P (%)	I_C (%)	I_A
PC - A	45	35	10	1,25	0,22
PC - B	44	35	09	0,64	0,17
PD - A	48	31	17	0,59	0,33
PD - B	49	31	18	0,48	0,35

ONDE: L_L : Limite de Liquidez; L_P : Limite de Plasticidade; I_P : Índice de Plasticidade; I_C : Índice de Consistência; I_A : Índice de Atividade da Argila.

O limite de liquidez e o índice de plasticidade diminuem em 2% e 10% para o plantio convencional, aumentam em 2,1% e 5,9% para o plantio direto e o limite de

plasticidade se mantém constante, para ambos os sistemas de cultivos, em relação à profundidade.

Os valores do índice de plasticidade das camadas do plantio convencional se apresentam inferiores a 10%, nas camadas do plantio direto, esses valores ficam entre 10% e 40% e, em ambos, os índices de vazios são maiores que 0,7. Segundo a classificação de HANSON (1991), as camadas do plantio convencional e plantio direto são consideradas fáceis e moderadamente erodíveis, respectivamente.

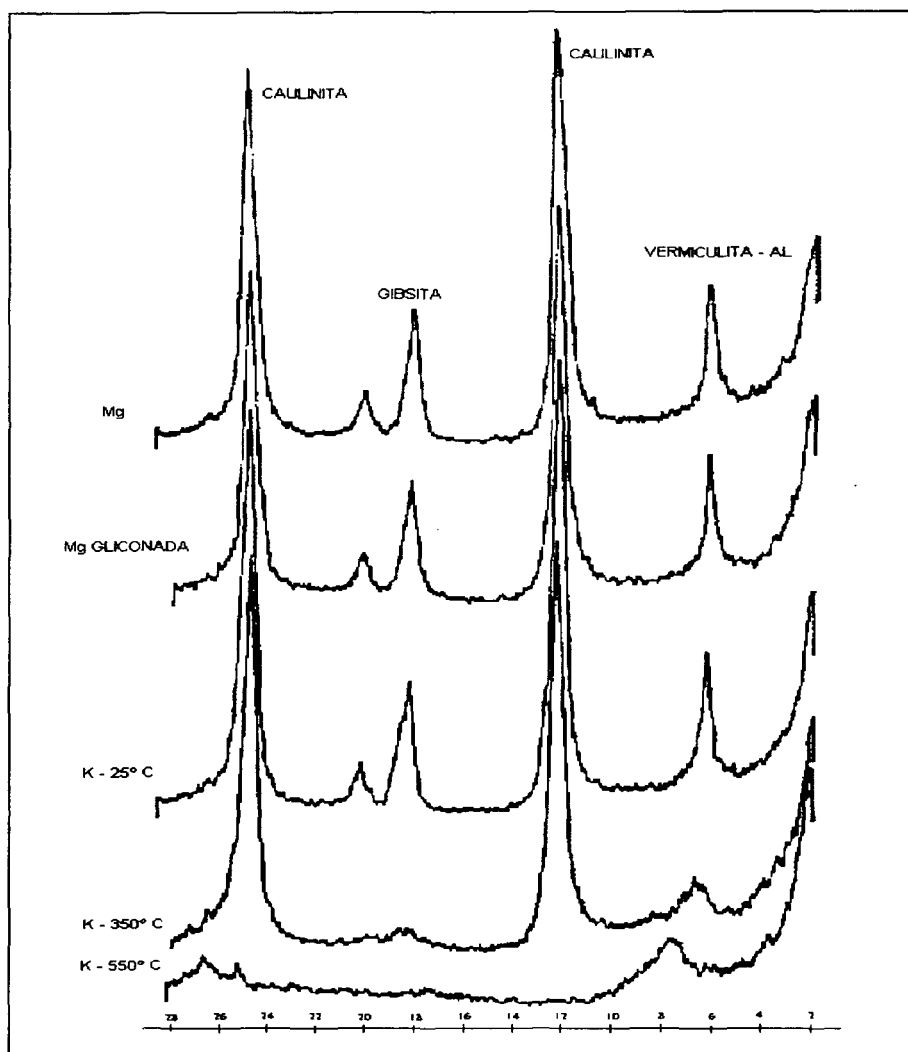
De acordo com VARGAS (1977) a classificação do solo, quanto ao índice de plasticidade é pouco plástico para todas as camadas e quanto ao índice de consistência é consistência dura à plástica média para o plantio convencional e consistência plástica média a plástica mole para o plantio direto, respectivamente. Segundo Sherard, citado por HÉNENSAL (1987), os solos com $6 < I_p < 15$ e $I_p > 15$ são considerados com média e boa resistência à erosão.

Para todas as camadas de solo os valores do índice da atividade da argila se apresentam menores que 0,5 determinando, dessa forma, que as argilas são inativas ($I_A < 0,75$), segundo a proposta de SKEMPTON e BORGAN (1994) e pode-se afirmar, ainda, que há predominância de argila tipo 1:1, conforme MITCHELL (1993) a variação da atividade da argila de até, no máximo, 0,5 são típicas de minerais tipo 1:1 (caulinita) e valores acima de 0,5 até 7,0 são de minerais 2:1 (ilita e esmectita).

4.4 COMPOSIÇÃO MINERALÓGICA DA FRAÇÃO ARGILA

De acordo com as difrações de raios-X das amostras retiradas das camadas "A" e "B" dos dois sistemas de cultivos, os difratogramas apresentam-se semelhantes, ou seja, com os mesmos minerais na fração argila, conforme figura 15.

FIGURA 15 - DIAFRATOGRAMA DE RAIOS-X TÍPICO DAS CAMADAS "A" E "B" DE AMBOS OS SISTEMAS DE CULTIVOS



Através dos cálculos dos espaçamentos interplanares dos picos, chega-se aos seguintes minerais: caulinita (1:1), gibbsita (1:1) e vermiculita-Al (2:1), em que os valores são, respectivamente:

- a) saturação em Magnésio: 0,36 nm - 0,49 nm - 0,73 nm - 1,44 nm;
- b) Magnésio gliconado: 0,36 nm - 0,48 nm - 0,73 nm - 1,45 nm;
- c) saturação em Potássio à 25°C: 0,36 nm - 0,49 nm - 0,73 nm - 1,45 nm;
- d) saturação em Potássio à 350°C: 0,36 nm - 0,48 nm - 0,73 nm - 1,33 nm;
- e) saturação em Potássio à 550°C: 0,37 nm - (----) - (----) - 1,16 nm.

Observando o difratograma e a maior intensidade dos picos definidos da caulinita, conclui-se que há predominância desse argilo mineral nas amostras analisadas.

De acordo com LIMA e LIMA (2000) a vermiculita é um mineral originado a partir da alteração da mica e degrada-se originando a caulinita e óxidos de ferro. Citam, ainda, que é comum a ocorrência de intercalação de alumínio entre as camadas de vermiculita, originando a vermiculita com alumínio interlamelar (vermiculita – Al), que é produto do intemperismo da vermiculita, muito comum em solos tropicais e bastante resistente a degradação. A gibbsita, também é muito comum nesses solos e é originada pela dessilicatização da caulinita ou alteração de feldspatos.

Segundo BUCKMAN (1979) os minerais tipo 2:1 são expansíveis, porém, a vermiculita é considerada um argilo mineral de expansão limitada, cita ainda que as unidades cristalográficas dos minerais 1:1 são ligadas entre si, com muita rigidez, pelo hidrogênio e por essa razão, não ocorre expansão, quando a argila é molhada. A caulinita não apresenta grau elevado nas propriedades coloidais e, portanto, são menores as características de plasticidade, coesão, dilatação e contração. De acordo com Arumugan, citado por VILAR (1987), a caulinita é menos resistente à erosão que os argilos minerais 2:1 (esmectita e illita).

Conforme DINAUER (1989), em solos originados a partir da alteração da mica, a caulinita é o argilo mineral mais abundante, porém, é comum encontrar nos horizontes superficiais a vermiculita-AL, sendo que a quantidade de vermiculita-Al decresce e a de caulinita cresce com a profundidade no perfil. Já a gibbsita aparece em solos mais velhos e é o mais importante mineral nos Latossolos. Relata que a CTC da caulinita e da gibbsita é baixa e que a caulinita aparece em solos moderadamente drenados, a gibbsita em solos excessivamente drenados e, ambas, em solos pouco férteis. Comenta, ainda, que a vermiculita possui CTC alta, mas pode sofrer diminuição devido o Al, apresenta significativa fixação de Potássio (K), forte acidez no solo e aparece em solos bem drenados.

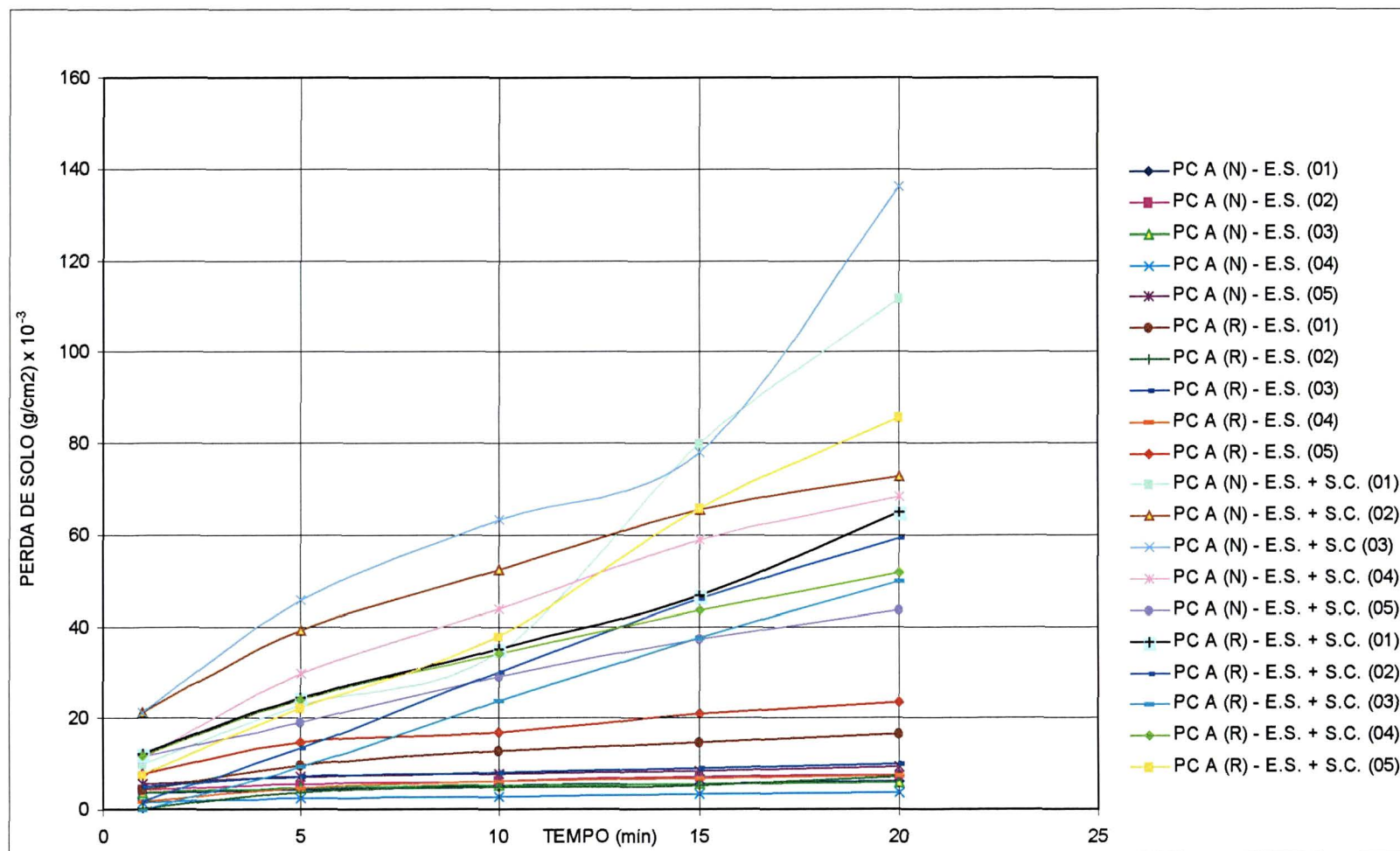
4.5 ERODIBILIDADE SOLO

Os resultados de perda de solo, obtidos através dos ensaios realizados no aparelho de Inderbitzen, da camada "A" do sistema de plantio convencional e plantio direto, respectivamente, estão apresentados em forma de gráficos de perda de solo ($\text{g/cm}^2 \times 10^{-3}$) pelo tempo de duração do ensaio (min), conforme os gráficos 12 e 13.

As curvas de perda de solo versus o tempo de duração do ensaio, referente apenas ao escoamento superficial, apresentam resultados semelhante às curvas encontradas por FONSECA e FERREIRA (1981), FÁCIO (1991) e SANTOS (1997), evidenciando, dessa maneira, as condições de repetibilidade que o ensaio oferece. Observa-se, ainda, que nos ensaios apenas com o escoamento superficial, em ambas as condições de umidade e sistema de cultivo, os resultados obtidos de perda de solo são mais significativos nos primeiros 5 minutos, o que foi igualmente observado por FONSECA e FERREIRA (1981), FÁCIO (1991) e SANTOS (1997). Sendo que, as curvas resultantes dos ensaios com simuladores de chuva, não apresentam o mesmo comportamento e também, não há uniformidade nessas curvas obtidas.

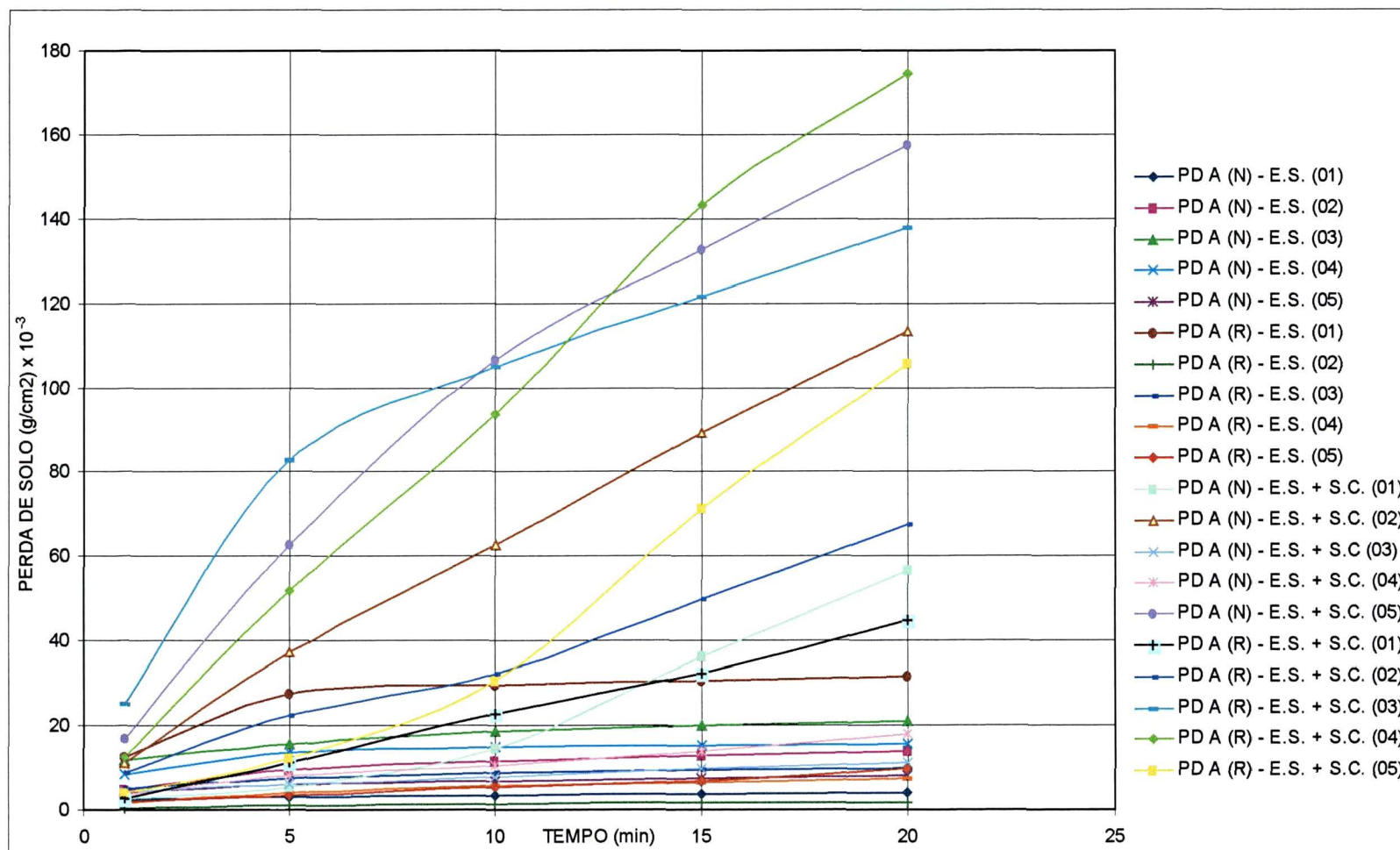
Os valores totais de perda de solo, para o tempo de 20 min, ficam entre 3,730 a 136,018 $\text{g/cm}^2 \times 10^{-3}$ para o plantio convencional e 1,851 a 174,399 $\text{g/cm}^2 \times 10^{-3}$ para o plantio direto, em que os maiores valores são obtidos nos ensaios com o simulador de chuva.

GRÁFICO 12 - PERDA DE SOLO X TEMPO – PLANTIO CONVENCIONAL



ONDE: PC A: Plantio Convencional da camada "A"; N: Umidade Natural; R: Umidade de Ressecamento; E.S.: Escoamento Superficial; S.C.: Simulador de Chuva

GRÁFICO 13 - PERDA DE SOLO X TEMPO – PLANTIO DIRETO



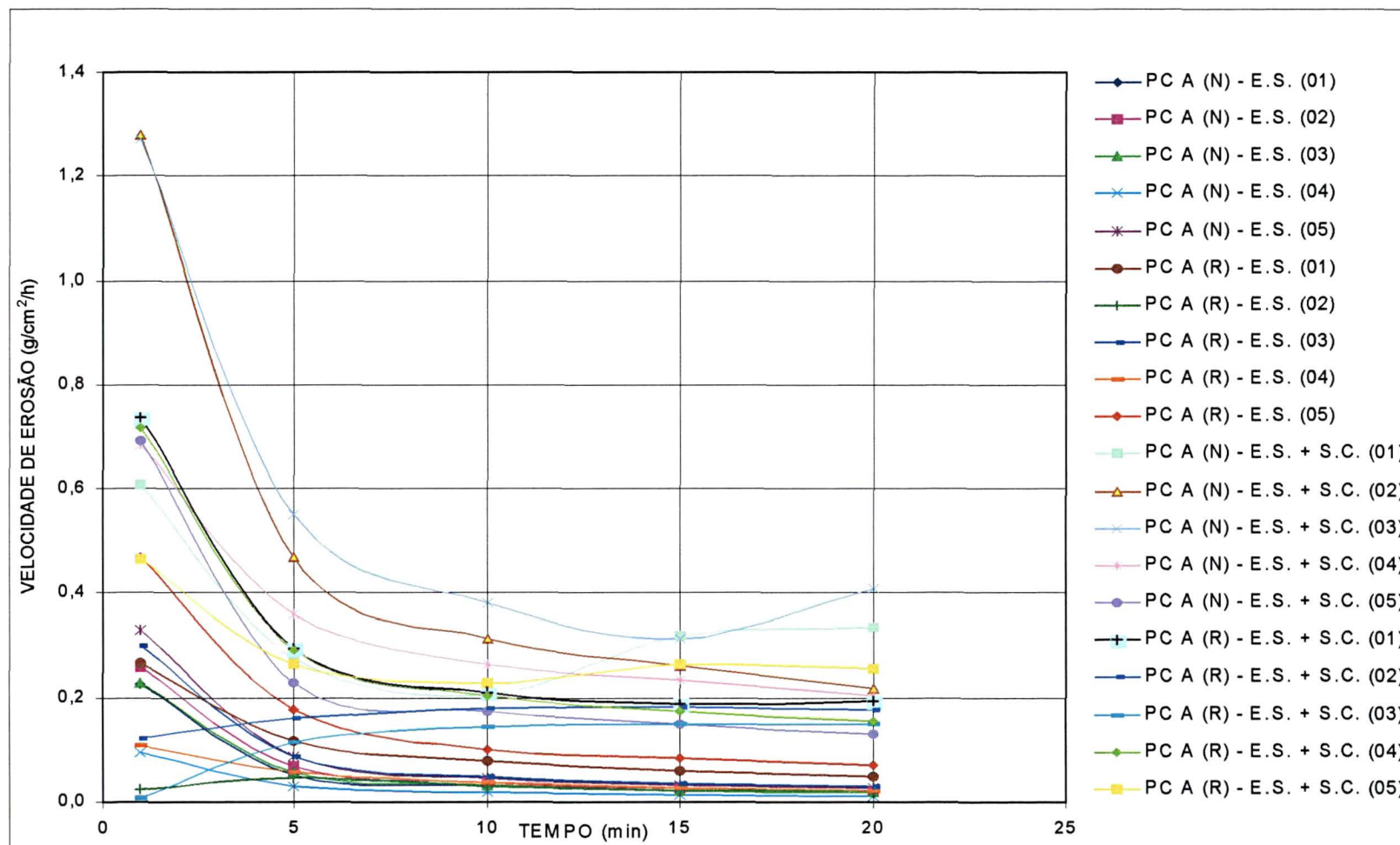
ONDE: PD A: Plantio Direto da camada "A"; N: Umidade Natural; R: Umidade de Ressecamento; E.S.: Escoamento Superficial; S.C.: Simulador de Chuva

Os resultados dos ensaios com aparelho de Inderbitzen, da camada "A" do sistema de plantio convencional e plantio direto, também, são expressos através de gráficos de velocidade de erosão ($\text{g/cm}^2/\text{h}$) versus tempo de duração de ensaio (min), conforme os gráficos 14 e 15.

Para a velocidade de erosão, no tempo de 5 min, os valores obtidos ficaram entre 0,029 a 0,551 $\text{g/cm}^2/\text{h}$ e 0,011 a 0,995 $\text{g/cm}^2/\text{h}$, para os sistemas de plantio convencional e plantio direto, respectivamente. Sendo que, os valores obtidos nos ensaios com o simulador de chuva apresentam-se maiores do que os resultados encontrados nos ensaios apenas com o escoamento superficial.

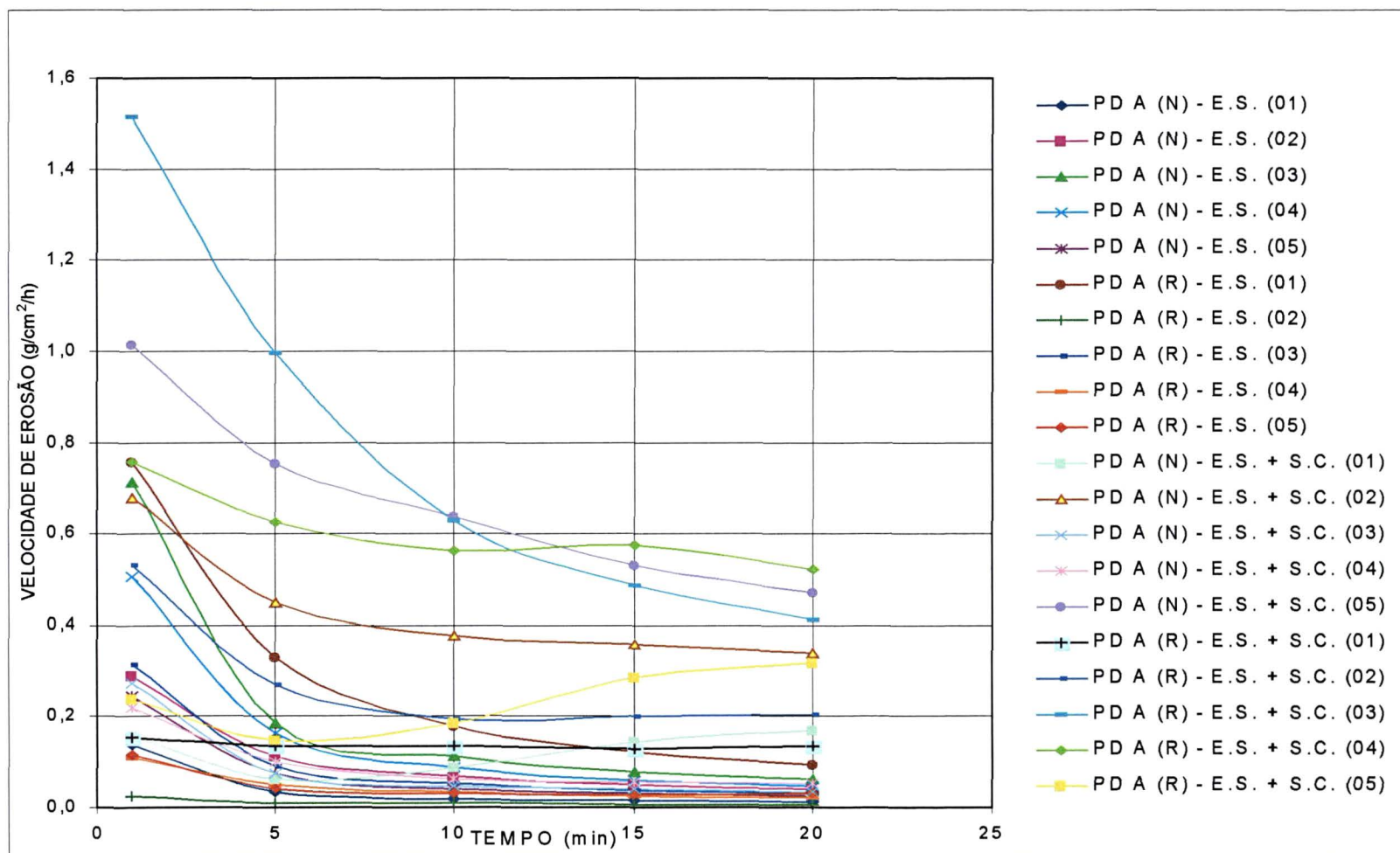
As curvas obtidas nos gráficos de velocidade de erosão se apresentam bem definidas nos ensaios somente com o escoamento superficial, para ambos os sistemas de plantio e condição de umidade. Para os ensaios com o simulador de chuva já não houve uma uniformidade nas curvas.

GRÁFICO 14 - VELOCIDADE DE EROÇÃO X TEMPO – PLANTIO CONVENCIONAL



ONDE: PC A: Plantio Convencional da camada "A"; N: Umidade Natural; R: Umidade de Ressecamento; E.S.: Escoamento Superficial; S.C.: Simulador de Chuva

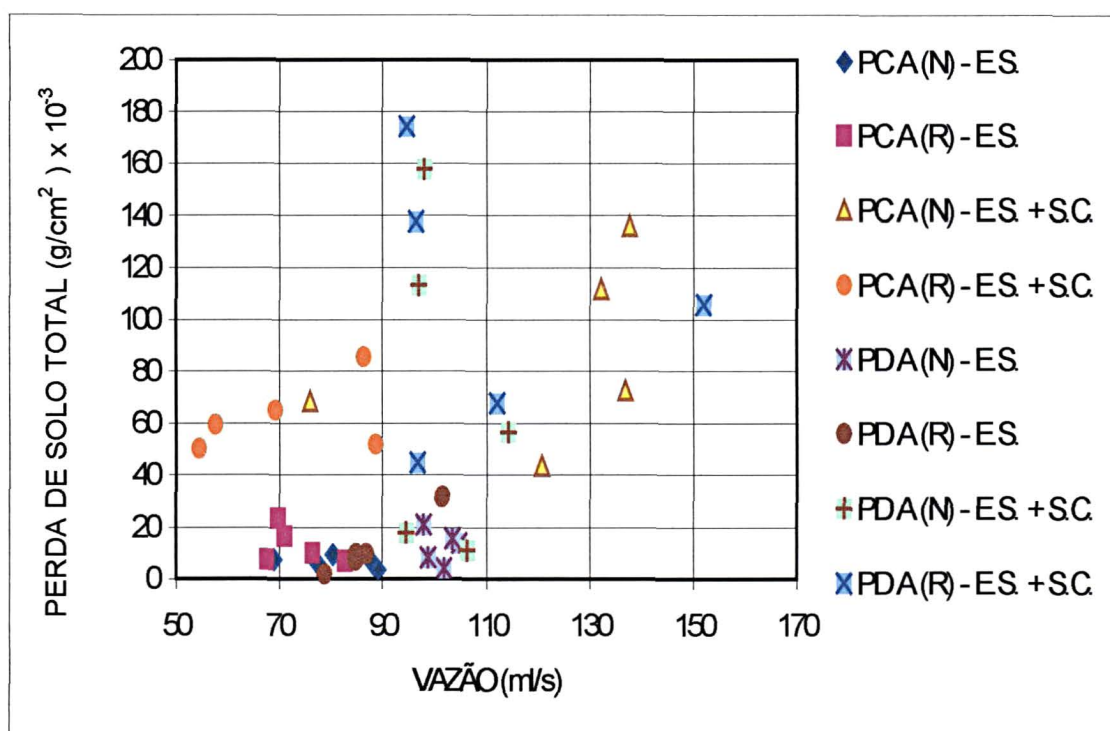
GRÁFICO 15 - VELOCIDADE DE EROÇÃO X TEMPO – PLANTIO DIRETO



ONDE: PD A: Plantio Direto da camada "A"; N: Umidade Natural; R: Umidade de Ressecamento; E.S.: Escoamento Superficial; S.C.: Simulador de Chuva

As variações das vazões no escoamento superficial da rampa foram de 54,57 a 137,67 ml/s no plantio convencional e de 78,83 a 152,03 ml/s no plantio direto. Essas variações estão relacionadas com a perda de solo total conforme o gráfico 16.

GRÁFICO 16 - PERDA DE SOLO X VAZÃO

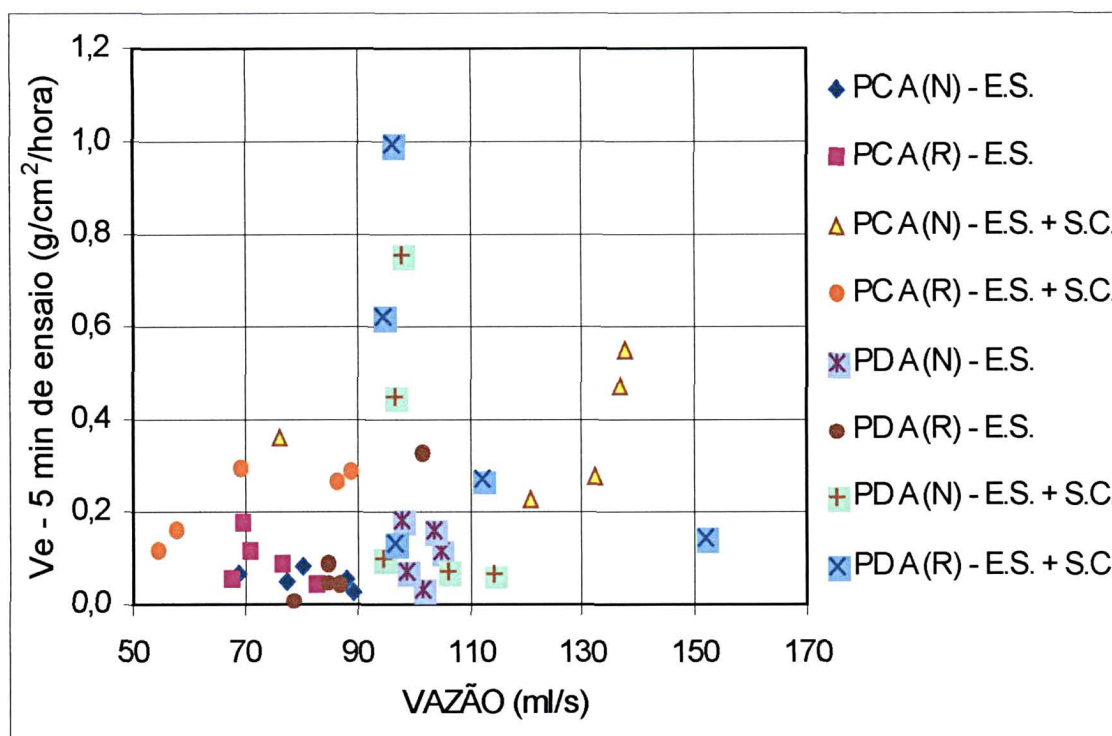


ONDE: PC A: Plantio Convencional da camada "A"; PD A: Plantio Direto da camada "A"; N: Umidade Natural; R: Umidade de Ressecamento; E.S.: Escoamento Superficial; S.C.: Simulador de Chuva

Nos ensaios, apenas com o escoamento superficial, para ambos os sistemas de plantio e para as mesmas condições de umidade, não se verifica um aumento significativo de perda de solo com o aumento da vazão. Os resultados se apresentam em um número maior dentro da faixa de 0,0 a $20,0 \text{ g/cm}^2 \times 10^{-3}$. Já nos ensaios com o simulador de chuva, a perda de solo apresenta valores maiores e mais significativos com vazões de escoamento próximos aos obtidos com o escoamento superficial. A maioria desses valores estão acima de $40 \text{ g/cm}^2 \times 10^{-3}$ para a perda de solo.

Essas variações das vazões, também estão relacionadas com a velocidade de erosão, no tempo de 5 min de duração do ensaio, conforme o gráfico 17.

GRÁFICO 17 - VELOCIDADE DE EROSÃO – 5 min X VAZÃO



ONDE: PC A: Plantio Convencional da camada "A"; PD A: Plantio Direto da camada "A"; N: Umidade Natural; R: Umidade de Ressecamento; E.S.: Escoamento Superficial; S.C.: Simulador de Chuva

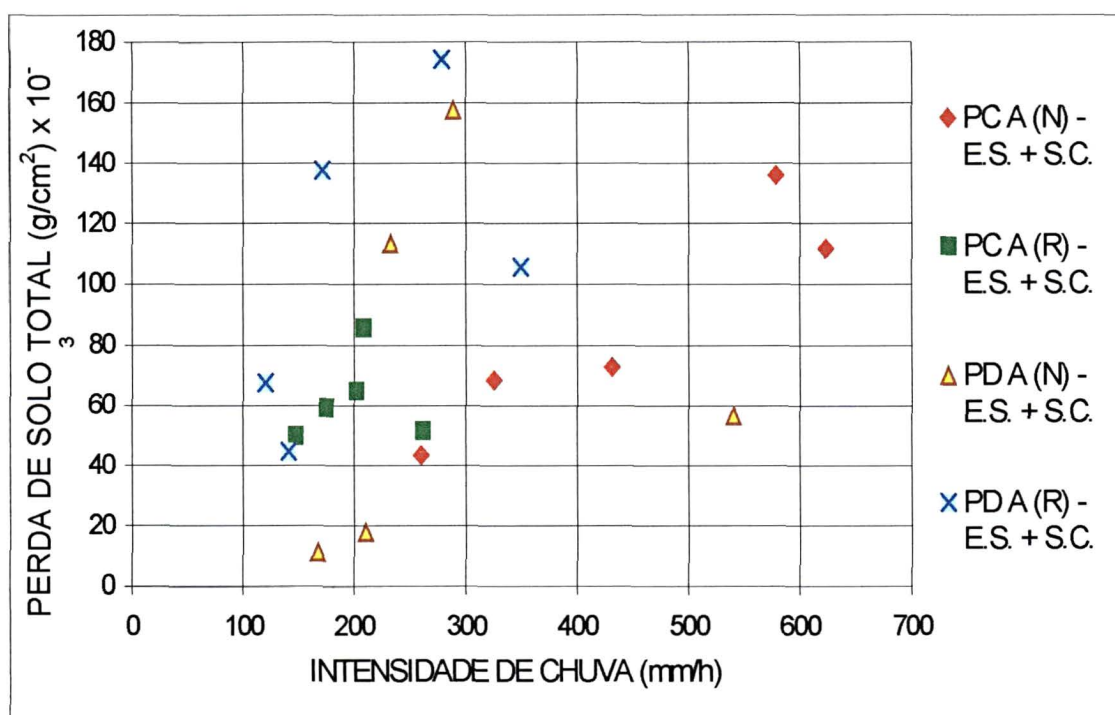
Os resultados de velocidade de erosão se apresentam em um número maior dentro da faixa de 0,0 a 0,2 g/cm²/h, nos ensaios, só com o escoamento superficial, para ambos os sistemas de plantio e para as mesmas condições de umidade, não se verifica um aumento significativo de velocidade de erosão com o aumento da vazão. Nos ensaios com o simulador de chuva os resultados obtidos, da velocidade de erosão, são mais significativos e apresentam valores maiores, com vazões de escoamento próximos aos obtidos no escoamento superficial, sendo que a maioria desses valores estão acima 0,2 g/cm²/h.

As variações de intensidades de chuva ficaram entre 148,13 a 622,99 mm/h para o plantio convencional e 120,37 a 540,86 mm/h para o plantio direto. A

influência da intensidade de chuva na perda de solo total e na velocidade de erosão, no tempo de 5 min de duração do ensaio, estão apresentadas conforme os gráficos 18 e 19, respectivamente, para ambos os sistemas de cultivo.

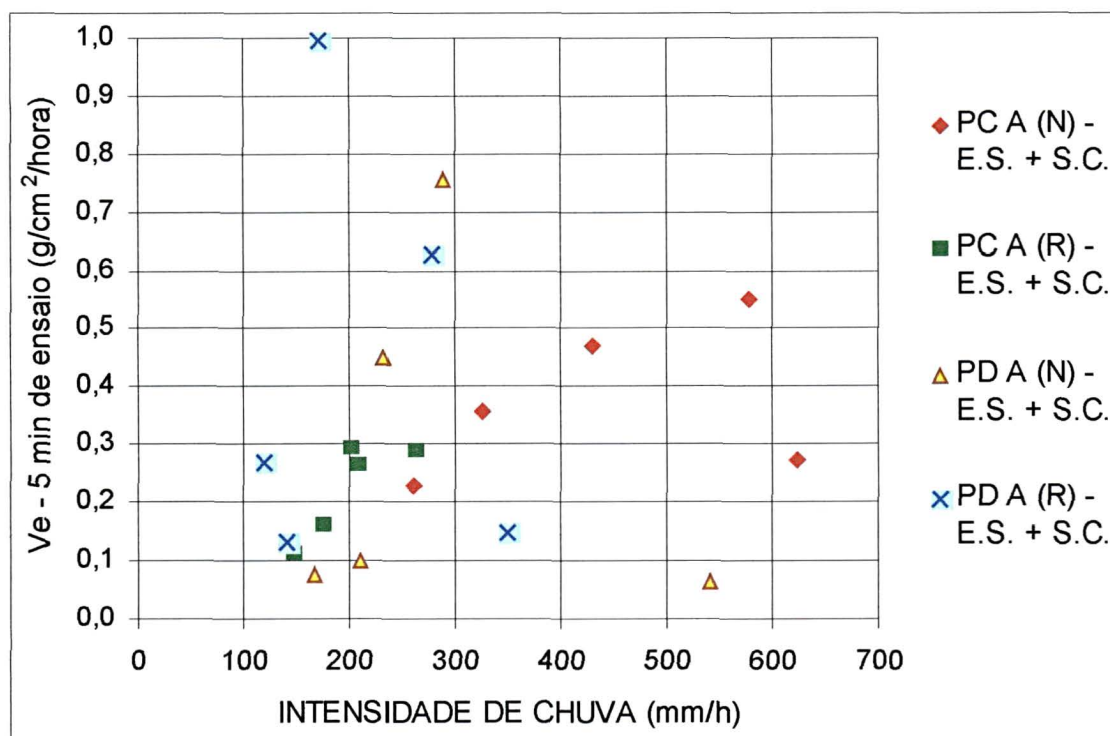
Com pequenas variações na intensidade de chuva são obtidos valores maiores de perda de solo total e velocidade de erosão no tempo de 5 min de duração do ensaio, para o sistema de plantio direto do que para o plantio convencional, na mesma condição de umidade.

GRÁFICO 18 - PERDA DE SOLO X INTENSIDADE DE CHUVA



ONDE: PC A: Plantio Convencional da camada "A"; PD A: Plantio Direto da camada "A"; N: Umidade Natural; R: Umidade de Ressecamento; E.S.: Escoamento Superficial; S.C.: Simulador de Chuva

GRÁFICO 19 - VELOCIDADE DE EROSIÃO – 5 min DE ENSAIO X INTENSIDADE DE CHUVA



ONDE: PC A: Plantio Convencional da camada "A"; PD A: Plantio Direto da camada "A"; N: Umidade Natural; R: Umidade de Ressecamento; E.S.: Escoamento Superficial; S.C.: Simulador de Chuva

As variações de umidades, verificadas no início dos ensaios, são de 31,39% a 40,20% e de 24,21% a 38,70% e as obtidas no final dos ensaios são de 41,41% a 62,46% e de 30,48% a 50,14%, para o plantio convencional e plantio direto, respectivamente.

Segundo FENDRICH et al (1991) os fatores contribuintes para a erosão, de maior importância, além do tipo de solo, são: a intensidade da chuva, umidade presente e permeabilidade do solo. Os autores citam, ainda, que chuvas intensas causam muitos mais danos que as chuvas moderadas.

4.6 DESAGREGAÇÃO DO SOLO

Os ensaios realizados na camada "A" do plantio convencional e do plantio direto, apresentaram os mesmos resultados.

A saturação completa, nas amostras analisadas, é de forma lenta. Entre 35 a 40 min para as amostras com umidade natural e de 40 a 55 min para aquelas com umidade de ressecamento por 36 h.

Nenhuma amostra apresenta o fenômeno de desagregação. Apenas no final dos ensaios verifica-se pequenas fissuras, na superfície superior, pouca dispersão, ao redor das amostras e pequenas fraturas, nos cantos inferiores, conforme figura 16.

Com relação às dimensões dos cubos, observa-se pequenas expansões, mantendo, praticamente, os tamanhos e formas originais.

Segundo FONSECA e FERREIRA (1981), quanto menor o tempo para a desagregação completa das amostras, maior é o índice de erodibilidade do solo analisado. Porém, a obtenção dessa velocidade de desagregação é prejudicada, por ser difícil de temporizar, com precisão, o início e o fim dos processos.

FIGURA 16 - FOTOGRAFIA DO ENSAIO DE DESAGREGAÇÃO



5 CONCLUSÕES

Os estudos sobre erosão superficial, através do aparelho de Inderbitzen, a comparação da suscetibilidade dessa, entre duas áreas com sistemas de preparo do solo diferentes: plantio convencional e plantio direto e as análises das características morfológicas, mineralógicas, químicas e físicas do solo, conduziram as seguintes conclusões:

- a) nos ensaios com o aparelho de Inderbitzen, o plantio convencional apresentou valores menores de perdas de solo do que o plantio direto, porém, bastante próximos. Isso pode ser explicado pelo fato do plantio convencional apresentar maior quantidade de matéria orgânica, porosidade total, índice de vazios e grau de aeração e, ainda, menor massa específica aparente seca, pH do solo e razão de dispersão. Características, essas, favoráveis à resistência aos processos erosivos, por influenciar o estado de agregação entre as partículas;
- b) o ensaio de Desagregação demonstrou-se ineficiente para detectar a maior ou menor predisposição à erosão. Isso devido a impossibilidade de reconhecer diferenças visuais pormenorizadas, pois não houve variações significativas nas características das amostras utilizadas, durante os ensaios;
- c) o ensaio de Inderbitzen revelou-se um simples e útil instrumento para verificar as variações de comportamento das amostras analisadas, podendo, dessa forma, identificar as camadas de solos mais propensas à erosão, por fluxo superficial;
- d) em relação a aplicação de um simulador de chuva sobre o aparelho de Inderbitzen, verificou-se, através do acréscimo de perdas de solo, a contribuição do impacto das gotas de chuva sobre a desagregação do solo e, conseqüentemente, no processo erosivo;
- e) amostras na condição de ressecamento apresentaram pouca influência no comportamento dos solos, nos ensaios de Inderbitzen e de desagregação, ao compará-las com amostras na condição de umidade natural.

6 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Os resultados obtidos e as conclusões encontradas no presente estudo permitiram verificar que o processo erosivo é uma ampla linha de pesquisa e que há um vasto campo de trabalho a ser desenvolvido. Por esse motivo, sugere-se a continuidade da pesquisa sob os seguintes aspectos:

- a) investigação de horizontes subsuperficiais de perfis de mesma origem geológica, verificando a importância do papel da pedogênese;
- b) comparação entre os dados obtidos em laboratório e os obtidos em campo;
- c) uniformização e regulação da vazão no escoamento superficial e da intensidade de chuva no simulador, para a certificação e verificação de outros fatores que influenciam nos processos erosivos tais como: a erodibilidade, diferenças de manejo nos plantios direto e convencional e as características mineralógicas do solo;
- d) melhora do aparelho de Inderbitzen, como: a execução de rampa com comprimento maior na parte anterior ao furo e tratamento superficial (empregando a rugosidade próxima ao do solo), para a regularidade do fluxo, sem com isso descaracterizar a simplicidade do ensaio;
- e) normatização do ensaio de Inderbitzen e dos critérios de erodibilidade a partir desse, como sugerido por FÁCIO (1991);
- f) verificar a influência, no ensaio com o aparelho de Inderbitzen, de restos de cultura, raízes, formigas, minhocas e fissuras contidas nas amostras de solo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGENA, S. S.; SAAD, A. M. Estudo da erodibilidade como subsídio para o controle preventivo da erosão. In: Simpósio Nacional de Controle de Erosão, 5., 1995, Bauru. **Anais Boletim de Campo**. Bauru: ABGE/UNESP, 1995. p. 237-239.

ANGULO, R. J. **Relações entre a erodibilidade e algumas propriedades de solos brasileiros**. Curitiba, 1983. 154p. Dissertação de Mestrado (Conservação do Solo) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

BASTOS, C. A. B. **Estudo Geotécnico sobre a erodibilidade de solos residuais não saturados**. Porto Alegre, 1999. 269p. Tese de Doutorado (Engenharia Civil) - Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

BISCAIA, R. C. M. Perdas de solo em diferentes tipos de preparo para a sucessão trigo-soja, sob chuvas naturais. In: Encontro Nacional de Pesquisas sobre Conservação do Solo, 2., 1978, Passo Fundo. **Anais...** Passo Fundo: EMBRAPA, 1978.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 3. ed. São Paulo: Ícone, 1990. p. 45-319.

BRASIL. Ministério dos Transportes. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem; Instituto de Pesquisas Rodoviárias. Divisão de Pesquisas. **Pesquisa de estabilidade de taludes**: recomendações para proteção de taludes contra erosão. Rio de Janeiro: IPR/DNER, 1979. 59 p.

BUCKMAN, H. O. **Natureza e propriedades dos solos**. 5. ed. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 1979. p. 75-261.

CAPUTO, H. P. **Mecânica dos solos e suas aplicações**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, v. 1, 1988. 242 p.

CASTRO, O. M. Manejo e preparo do solo e erosão. In: Encontro do Uso da Terra, 1., 1984, Região do Vale do Parapanema, Assis, São Paulo. **Aspectos de manejo do solo**. Campinas: Fundação Cargill, 1985. p. 45-70.

CASTRO, O. M. et al. **Caracterização química de dois latossolos em plantio direto e convencional**. Boletim Científico. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, n. 11, 1987.

CATANI, R. A. et al. **Amostragem de solo, métodos de análise, interpretação e indicações gerais para fins de fertilidade**. Boletim Científico, Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, n. 69, 1955.

CORRÊA, A. **Prejuízos com as perdas de solos nas áreas agrícolas**. Disponível em: <<http://www.cnps.embrapa.br/search/planets/coluna14/coluna14.html>> Acesso em: 03 jul. 2001.

DERPSCH, C. H. et al. **Controle da erosão no Paraná, Brasil**: sistemas de cobertura do solo, plantio direto e preparo conservacionista do solo. Eschborn, Alemanha: Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) - IAPAR, 1991. p. 47-51.

DINAUER, R. C. **Minerals in soil**. 2. ed. Wisconsin: Soil Science Society of América. n. 1, 1989. p. 259-403.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. ver. atual. Rio de Janeiro: Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos, 1997.

FÁCIO, J. A. **Proposição de uma metodologia de estudo da erodibilidade dos solos do Distrito Federal**. Brasília/DF, 1991. 107p. Dissertação de Mestrado (Geotécnia) – Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília.

FENDRICH, R. et al. **Drenagem e controle de erosão urbana**. 3. ed., São Paulo: IBRASA, 1991. p. 18-29.

FONSECA, A. M. M. C. C.; FERREIRA, C. S. M. Metodologia para determinação de um índice de erodibilidade de solos. In: Simpósio Brasileiro de Solos Tropicais em Engenharia, 1981, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, CNPq, ABMS. 1981. p. 646-664.

FRAGASSI, P. F. M.; MARQUES, E. A. G. Desenvolvimento de uma nova versão do aparelho Inderbitzen. In: Simpósio Nacional de Controle de Erosão, 7., 2001, Goiânia. **Relação de trabalhos**. Goiânia: [s.n.], 2001. 1 CD-ROM.

FREIRE, E. P. Ensaio Inderbitzen modificado: um novo modelo para avaliação do grau de erodibilidade do solo. In: Simpósio Nacional de Controle de Erosão, 7., 2001, Goiânia. **Relação de trabalhos**. Goiânia: [s.n.], 2001. 1 CD-ROM.

HANSON, G. L. **Development of a jet index to characterize erosion resistance of soils in earthen spillways**. Transaction os ASAE, v. 34, n. 5, 1991. p. 2015-2020.

HÉNENSAL, P. **Le risque dérosion hydrique des sols**. Bull. Liaison Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, n. 150/151, 1987. p. 117-129.

HUDSON, N. W. Soil Conservation. In.: Chapter 3. **The physics of rainfall**. 2. ed. Ithaca, New York: Bastsford, London and Cornell University Press, 1981. 324 p.

_____. **Field measurement of soil erosion and runoff**. Roma: FAO Soils Bulletin n. 68, 1993. p. 95-129.

INDERBITZEN, A. L. **An erosion test for soils**. Materials Research & Standarts, v.1, nº 7, Technical Note, 1961. p. 553-554.

KEMPER, B.; VIEIRA, M. J. Características físicas de cinco solos do Paraná, sua relação com a erodibilidade e possibilidades para o melhoramento das condições físicas do solo. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 17., 1979. **Resumos**. [S.l.: s.n.], 1979. p. 94.

KIEHL, E. J. **Manual de edafologia: relações solo-planta**. São Paulo: Editora Agronômica "Ceres" Ltda, 1979. 263 p.

KOFFLER, N. F.; DONZELI, P. L. Avaliação dos solos brasileiros para a cultura da cana-de-açúcar. In: Cana-de-açúcar. **Cultivo e utilização**. [S.l.]: Fundação Cargill, 1987. v. 1, p. 19-41.

LAWS, J. O. **Measurements of the fall velocities of water drops and rain drops**. Trans. American Geophysical Union, Washington: D. C., 1941. v. 22, p. 709-721.

LEMOES, R. C.; SANTOS, R. D. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. Campinas: SBSCS, 1984. 46 p.

LIMA, V. C.; LIMA, J. M. J. C. **Fundamentos de pedalogia**. Apostila elaborada para o curso de Agronomia. Departamento de Solos, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2000. 306 p.

LOMBARDI NETO, F. et al. Sistemas de preparo do solo em relação à erosão e a produção. In: Congresso Brasileiro de Conservação do Solo, 3., 1980, Brasília. **Anais...** Brasília: [s.n.], 1980.

MAACK, R. Classificação do clima do Estado do Paraná. In: _____. **Geografia física do Estado do Paraná**. 2. ed. Rio de Janeiro: J. Olímpio, 1981. 442 p.

MACHADO, P. L. O. A. **Plantio direto**: situação atual e desafios. Disponível em: <<http://www.cnps.embrapa.br/search/pesqs/fagfert3/fagfert3.html>> Acesso em: 03 jul. 2001.

MARQUES, J. Q. A.; BERTONI, J. **Sistemas de preparo do solo em relação à produção e à erosão**. Bragantia, Campinas, SP: [s.n.], 1961. v. 20, p. 403-459.

MEYER, L. D. Rainfall simulators for soil erosion research. In: Soil and Water Conservation Society; R Lal (Ed.). **Soil Erosion Research Methods**. Chapter 4 Columbus: Ohio State University, 1994. p. 83-103.

MITCHELL, J. K. **Fundamentals of soil behavior**. 2. ed. New York: J. Wiley & Sons, 1993. 437 p.

MIDDLETON, H. E. **Properties of soils wich influence soil erosion**. Washington: U.S. Department Agricultural. Technical Bulletin, n. 178, 1930. 16 p.

MINEROPAR – Minerais do Paraná S.A. **Guia de prevenção de acidentes geológicos urbanos**. Curitiba, 1998. p. 25-29.

MONDARDO, A.; VIEIRA, M.J. Apresentação de programas de pesquisa em conservação do solo no Brasil. In: Encontro Nacional sobre Pesquisa de Erosão com Simuladores de Chuva, 1., 1975, **Trabalhos apresentados**. Londrina: EMBRAPA/IAPAR, 1975. p. 3-25.

MONIZ, A. C. et al. **Elementos de pedologia**. São Paulo: Polígono - Ed. da Universidade de São Paulo, 1972. 459 p.

MUZILLI, O. O plantio direto no Brasil. In: Fundação Cargill. **Atualização em plantio direto**. Campinas: Fundação Cargill, 1985. p. 3-22.

MUNSELL COLOR COMPANY. **Munsell soil color charts**. Baltimore / Maryland, USA: [s.n.], 1998.

NOGAMI, J. S.; VILLIBOR, D. F. Pavimentação de baixo custo com solos lateríticos. In: _____. **Erosão na faixa marginal**. São Paulo: Editora Villibor, 1995. p. 169-196.

PAASWELL, R. E. Causes and mechanisms of cohesive soil erosion: the state of the art. In: Highway Research Board Special Report. **Soil Erosion: Causes and mechanisms, prevention and control**. Washington: [s.n.], 1973. n. 135, p. 52-74.

PEDROTTI, A.; PAULETTO, E. A.; CRESTANA, S. Resistência do solo sob diferentes sistemas de cultivo. In: Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água, 12., 1998, Fortaleza. **Resumos Expandidos**. Fortaleza: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1998. p. 187-188.

PRATA, F. et al. Influência dos sistemas de plantio direto, convencional e reflorestamento na CTC de um Latossolo vermelho-escuro da região de Ponta

Grossa – PR. **Revista do Setor de Ciências Agrárias**, Curitiba, 1996. v. 15, n. 2, p. 75-83.

SANTOS, R. M. M. **Caracterização geotécnica e análise do processo evolutivo das erosões no município de Goiânia**. Brasília, 1997, 120 p. Dissertação de Mestrado (Geotécnia) – Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília.

SCHULTZ, L. A. **Manual do plantio direto: técnicas e perspectivas**. 2. ed. Porto Alegre: SAGRA, 1987. 124 p.

SIDIRAS, N.; ROTH, C. H.; FARIAS, G. S. Efeito da intensidade de chuva na desagregação por impacto de gotas em três sistemas de preparo do solo. **R. Bras. Ci. Solo**, 1984. v. 8, p. 251-254.

SILVA, M. L. N. **Erosividade de chuva e proposição de modelos para estimar a erodibilidade de latossolos brasileiros**. Lavras/MG, 1997, 154 p. Tese de Doutorado (Agronomia), Universidade Federal de Lavras.

SILVEIRA, M. J.; ELTZ, F. L. F.; AMADO, T.; BRUM, A. C. & POTT, C. A. Perdas de solo e água em diferentes sistemas de cultura sob plantio direto: resultados de 5 anos. In: Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água, 12., 1998, Fortaleza. **Resumos Expandidos**. Fortaleza: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1998. p. 140-141.

SKEMPTON, A. W.; BORGAN, J. M. **Experiments on piping sandy gravels**. *Geotechnique*, 1994. 44(3), p. 449-460.

TOMÉ JR, J. B. **Manual para interpretação de análise de solo**. Guaíba: Agropecuária, 1997. p. 90-157.

VARGAS, M. **Introdução à mecânica dos solos**. São Paulo: McGraw Hill do Brasil, Ed. da Universidade de São Paulo, 1977. p. 4-102.

VIEIRA, M. J.; MUZILLI, O. Características físicas de um Latossolo Vermelho-Escuro sob diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, 1984. v. 19, n. 7, p. 873-882.

VIEIRA, M. J. Comportamento físico do solo em plantio direto. In: Fundação Cargill. **Atualização em plantio direto**. Campinas: Fundação Cargill, 1985. p. 163-179.

VILAR, O. M. **Formulação de um modelo matemático para a erosão dos solos pela chuva**. São Paulo, 1978. Tese de Doutorado - Departamento de Engenharia Civil, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. 196 p.

WISCHMEIER, W. H. ; SMITH, D. D. Predicting rainfall erosion losses from cropland East of the Rocky Mountains. **Agriculture Handbook**, Washington: U.S. Department of Agriculture, n. 282, 1965. 47 p.

WITTING, L. D.; ALLARDICE, W. R. X-ray diffraction techniques. In: KLUTE, A. (ed.). **Methods of soil analysis**. [S.l.]: Madison American Society of Agronomy, 1986. p. 331-362.

WUNSCHÉ, W. A.; DENARDIN, J. E. Erodibilidade de latossolo vermelho escuro álico (unidade de mapeamento passo fundo) 1ª aproximação. In: Encontro Nacional de Pesquisas sobre Conservação do Solo, 2., 1978, Passo Fundo. **Anais... Passo Fundo: EMBRAPA**, 1978. p. 209-214.

APÊNDICES

APÊNDICE 1 - DETERMINAÇÃO DE CASCALHOS E CALHAUS	75
APÊNDICE 2 - ANÁLISE GRANULOMÉTRICA	76
APÊNDICE 3 - MASSA ESPECÍFICA APARENTE E UMIDADE DO SOLO	78
APÊNDICE 4 - MASSA ESPECÍFICA REAL DAS PARTÍCULAS	79
APÊNDICE 5 - ARGILA DISPERSA EM ÁGUA	80
APÊNDICE 6 - DETERMINAÇÃO DO LIMITE DE LIQUIDEZ	81
APÊNDICE 7 - DETERMINAÇÃO DO LIMITE E ÍNDICE DE PLASTICIDADE	82

APÊNDICE 1 - DETERMINAÇÃO DE CASCALHOS E CALHAUS

Método Gravimétrico adaptado de EMBRAPA (1997).

Procedimentos:

- a) pesar 100 g da amostra de solo secada na estufa a 65° C, antes de triturar com gral e pistilo;
- b) passar na peneira de 2 mm (terra fina seca em estufa - TFSE). Não quebrar as frações cascalho, calhaus e matacão;
- c) este material retido na peneira de 2 mm deve ser lavado com água corrente até eliminar os colóides que ficam agregados;
- d) colocar este material em um copo de plástico e adicionar água e 10 ml de hidróxido de amônio (dispersante);
- e) deixar durante uma noite e em seguida lavar bem com água de torneira até eliminar todo o colóide aderente aos mesmos;
- f) deixar secar em estufa;
- g) pesar o correspondente a soma de calhaus e cascalhos;
- h) passar o material na peneira 20 mm e pesar a fração que ficou retida.
- i) calcular as percentagens de calhaus, cascalhos e terra fina pelas seguintes expressões:
 - % calhaus = $100 \left(\frac{\text{peso de calhaus}}{\text{peso total da amostra}} \right)$;
 - % cascalhos = $100 \left(\frac{\text{peso de (cascalhos + calhaus)} - \text{peso de calhaus}}{\text{peso total da amostra}} \right)$;
 - % terra fina = $100 - (\% \text{ calhaus} + \% \text{ de cascalhos})$.

APÊNDICE 2 - ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

Método do Densímetro adaptado de EMBRAPA (1997).

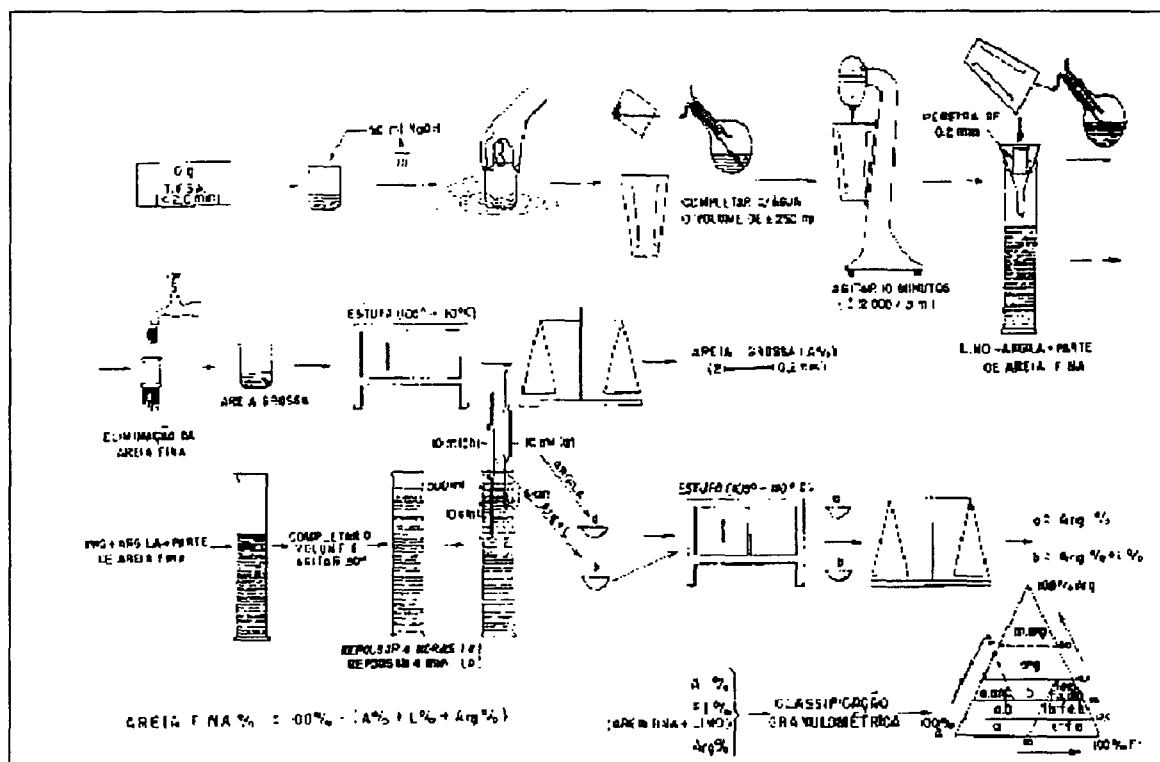
Princípio: Este método baseia-se na velocidade de queda das partículas que compõem o solo. Fixa-se o tempo para o deslocamento vertical na suspensão do solo com água, após a adição de um dispersante químico (NaOH). Insere-se um densímetro em um volume da suspensão, para determinação de argila. As frações grosseiras (areias) são separadas por tamisação, secas em estufa e pesadas para obtenção dos respectivos percentuais. O silte corresponde ao complemento dos percentuais para 100% (EMBRAPA, 1997).

Procedimentos, conforme figura 17:

- a) pesar 50 g de terra fina seca ao ar (passada em peneira de 2 mm) e transferir para copo de Becker de 500 ml, adicionando 25 ml de solução de hidróxido de sódio 1 mol/l e 100 ml de água destilada. Agitar com bastão de vidro e deixar em repouso até o dia seguinte, cobrindo com vidro de relógio;
- b) passar todo o conteúdo do copo de Becker para o copo metálico do agitador elétrico, usando cerca de 200 ml de água destilada, e agitar por 15 min;
- c) passar (com auxílio do frasco pisseti) o conteúdo do copo metálico para o cilindro de sedimentação (ou proveta) de 1000 ml, passando através de peneira 0,053 mm apoiada em funil de vidro (colocado no suporte de ferro), lavando o material retido (areia) na peneira com água destilada. Passar a areia retida na peneira 0,053 mm para uma cápsula de porcelana tarada e identificada, e colocar na estufa a 105-110° C, aguardar secagem, esfriar no dessecador (com sílica gel seca) e pesar em balança com aproximação de 0,001 g (Leitura 01);
- d) completar o volume dos cilindros até 1000 ml com água destilada.;
- e) homogeneizar a suspensão com agitador elétrico por 2 min e aguardar 2 h;

- f) inserir cuidadosamente um densímetro na suspensão e efetuar a leitura (Leitura 02) e a concentração na terra fina seca ao ar (TFSA);
- g) calcular:
- argila (dag/kg) = (Leitura 02 x 2);
 - areia total (dag/kg) = (Leitura 01 - massa da cápsula em g) x 2;
 - silte (dag/kg) = 100 - Argila (dag/kg) - Areia total (dag/kg).

FIGURA 17 - ESQUEMA DA MARCHA ANALÍTICA DA ANÁLISE TEXTURAL



FONTE: MONIZ et al (1972)

Comentários: Maiores detalhes (ou variações deste procedimento) podem ser encontradas em CAMARGO et al. (1986, p. 55-60) e EMBRAPA (1997, p. 27-32), dentre outros. À partir dos resultados de areia, silte e argila, pode-se determinar a classe textural do solo, consultando a figura existente no Manual de Descrição e Coleta de Solo no Campo LEMOS e SANTOS (1984).

APÊNDICE 3 - MASSA ESPECÍFICA APARENTE E UMIDADE DO SOLO

Método do Anel Volumétrico adaptado de EMBRAPA (1997).

Procedimentos:

- a) anotar a altura (h) e o diâmetro (D) do anel volumétrico em centímetros;
- b) limpar a superfície do solo a ser amostrado e cravar o anel com instrumento adequado. Com o auxílio de uma pá cortadeira e de um enxadão retirar o anel com cuidado, de forma que o preenchimento do mesmo não apresente falhas. Com uma faca retirar os excessos de solo do volume do anel e colocá-lo em um saco plástico. Verificar, após a retirada da amostra do anel volumétrico, se não havia presença de raízes ou canais que prejudicassem a representatividade da amostra;
- c) no laboratório colocar este material em uma cápsula de porcelana, com peso já determinado (Leitura 1), pesar este material úmido (Leitura 2) e em seguida secar em estufa a 105° C por 24 h;
- d) retirar da estufa, deixar esfriar e determinar o peso do solo seco + cápsula, em gramas (Leitura 3);
- e) proceder os cálculos:
 - volume do anel (cm^3) = $3,1415 \times \text{altura} \times (\text{diâmetro} / 2)^2$;
 - densidade do solo (g/cm^3) = $(\text{Leitura 3} - \text{Leitura 1}) / \text{volume do anel}$;
 - porcentagem de umidade atual ($\text{g}/100 \text{ g de amostra seca}$) = $100 \times ((\text{Leitura 2}) - (\text{Leitura 3})) / ((\text{Leitura 3}) - (\text{Leitura 1}))$.

APÊNDICE 4 - MASSA ESPECÍFICA REAL DAS PARTÍCULAS

Método do Balão Volumétrico adaptado de EMBRAPA (1997).

Procedimentos:

- a) secar uma amostra de terra fina a 105° C por 6 a 12 h;
- b) pesar 20 g de solo e transferir para o balão volumétrico de 50 ml;
- c)- com o auxílio de uma bureta adicionar vagarosamente álcool etílico, agitando bem o balão para eliminar as bolhas de ar que se formam;
- d) prosseguir lentamente a operação, até ausência de bolhas e completar o volume do balão;
- e) anotar o volume de álcool gasto (ml);
- f) efetuar os cálculos:
 - densidade de partículas (g/cm^3) = $20 / (50 - \text{volume de álcool gasto})$.

APÊNDICE 5 - ARGILA DISPERSA EM ÁGUA

Método do Densímetro adaptado de EMBRAPA (1997).

Princípio: O material em suspensão confere determinada densidade ao líquido. Decorrido o período para a coleta do material, se não houver nenhuma partícula coloidal em suspensão, a argila estará 100% floculada.

Procedimentos:

- a) colocar 50 g de solo em copo plástico de 250 ml;
- b) adicionar 125 ml de água, agitar com bastão de vidro, deixar em repouso durante uma noite, cobrindo com vidro de relógio;
- c) transferir o conteúdo para o copo metálico do agitador, proceder à agitação, passar o material através da peneira de 0,053 mm, lavar as areias, completar o volume para 1000 ml, agitar a suspensão por 20 segundos, sifonar a suspensão após 90 min e efetuar a leitura do densímetro. Abandonar as areias;
- d) o teor de argila dispersa em água foi dado por:
 - argila dispersa em água (dag/kg) = (leitura do densímetro x 2).

APÊNDICE 6 - DETERMINAÇÃO DO LIMITE DE LIQUIDEZ

Adaptado da NBR – 6459/84.

Limite de Liquidez: é o teor de umidade que identifica a fronteira entre o estado plástico e o estado líquido do solo.

Procedimentos:

- a) pesar 150g de TFSA, passada na peneira 0,42 mm e colocar em uma cápsula de porcelana este material pesado;
- b) adicionar água destilada e mexer com a espátula por 15 min., formando um material homogêneo;
- c) colocar este material na concha do aparelho de Casagrande e abrir uma ranhura com cinzel;
- d) girar a manivela e contar o número de golpes necessários para fechar esta ranhura (no mínimo 15 golpes e no máximo 35);
- e) colocar uma amostra deste solo em uma cápsula de alumínio, com peso já determinado e pesar o conjunto;
- f) colocar em estufa para a secagem com temperatura a 60° C e pesar após 24 h.

O ensaio é executado quantas vezes for necessário, obtendo no mínimo 5 pontos, para definir a reta que relaciona o número de golpes com o teor de umidade.

O Limite de Liquidez é a umidade correspondente a 25 golpes, determinada com base nesta reta.

APÊNDICE 7 - DETERMINAÇÃO DO LIMITE E ÍNDICE DE PLASTICIDADE

Adaptado da NBR - 7180/84.

Limite de plasticidade: é o teor de umidade que determina o estado plástico e semi-sólido de um solo.

Índice de Plasticidade: é a diferença entre o Limite de Liquidez e o Limite de Plasticidade dos solos, identificando a faixa de umidade em que o solo encontra-se no estado plástico.

Procedimentos:

- a) pesar 150 g de TFSA, passada na peneira 0,42 mm, colocar na metade da cápsula de porcelana este material pesado e adicionar água destilada e mexer com a espátula por 15 min, formando um material homogêneo;
- b) Pegar aproximadamente 10 g deste material e fazer uma bola;
- c) comprimir essa bola sobre uma placa de vidro, no lado da superfície jateada (áspera), com o auxílio do dedos até formar um bastão cilíndrico igual ao cilindro padrão: diâmetro = 3 mm e comprimento = 100 mm;
- d) quando o bastão chegar nessa condição deverá começar a se quebrar, caso contrário deverá ser repetido o ensaio adicionando ou eliminando água;
- e) ao atingir essa condição, colocar os bastões em cápsula de alumínio numerada e pesada e deverá ser repetido esse procedimento por seis vezes;
- f) pesar esse material e colocar em estufa a 60° C, por 24 h;
- g) pesar esse material seco e determinar a percentagem de umidade pelo método usual, as pesadas devem ser feitas com aproximação de 0,01 g.

O Limite de Plasticidade foi igual a média obtida, arredondada para o número inteiro mais próximo.

O Índice de Plasticidade é a diferença entre o Limite de Liquidez e o Limite de Plasticidade.